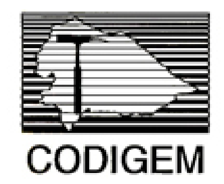


CORPORACIÓN DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO-MINERO-METALÚRGICA



MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS



DEPARTMENT FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT



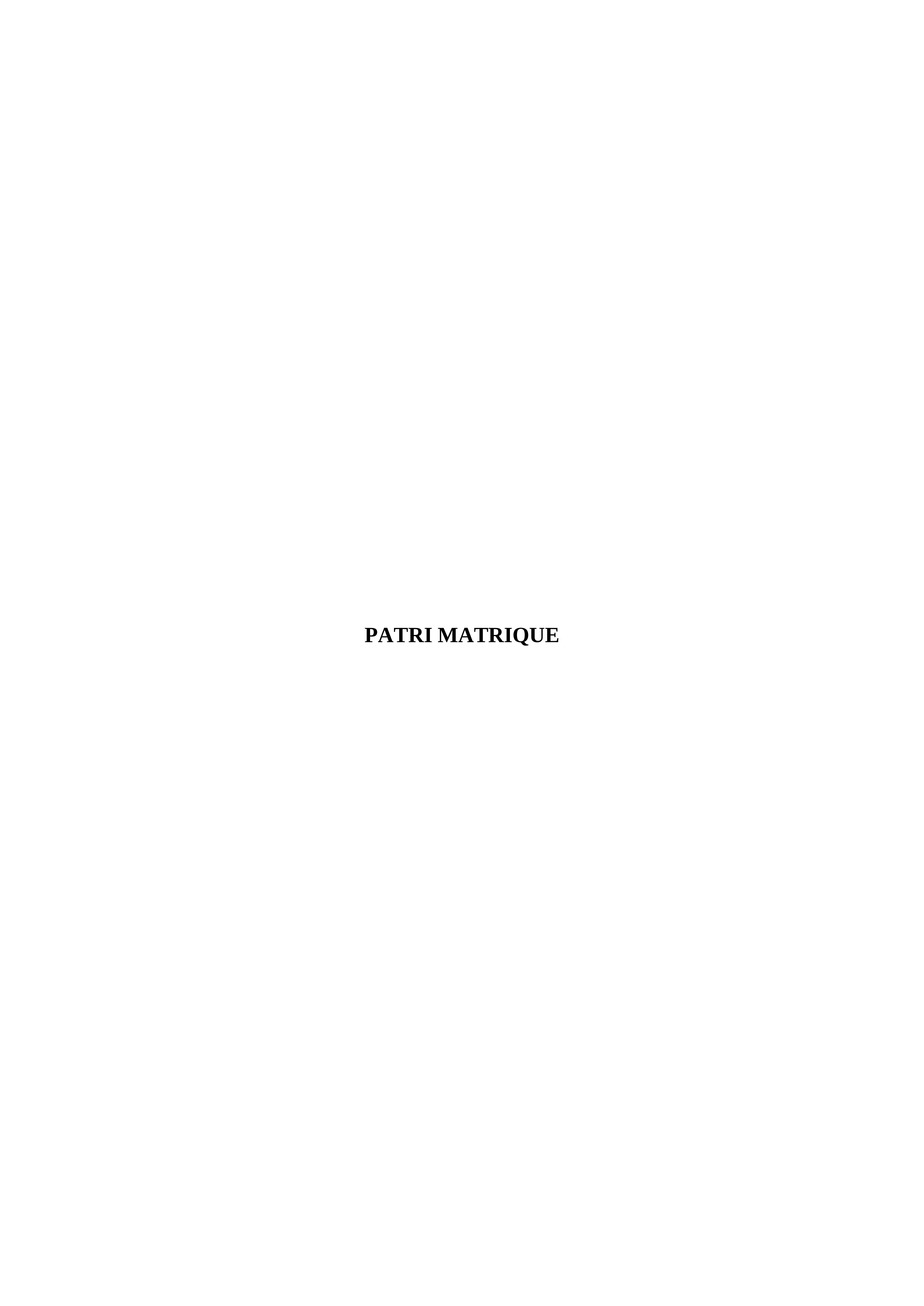
BRITISH GEOLOGICAL SURVEY

INFORME No. 9

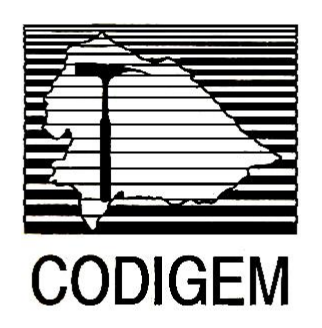
MAPA PARCIAL DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

PROYECTO DE DESARROLLO MINERO Y CONTROL AMBIENTAL DEL BANCO MUNDIAL

PROGRAMA DE INFORMACIÓN Y CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA (CORDILLERA OCCIDENTAL)



PATRI MATRIQUE





PROYECTO DE DESARROLLO MINERO Y CONTROL AMBIENTAL

PROGRAMA DE INFORMACIÓN Y CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

Informe Número 9

INVESTIGACIÓN GEOQUÍMICA DE RECONOCIMIENTO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DEL ECUADOR ENTRE 1°00' Y 2°00'S

T. M. Williams

W. Castillo

E. Cruz

V. Acitimbay

CODIGEM-BRITISH GEOLOGICAL SURVEY

Quito-Ecuador

1999

Traducción al español por

Stalyn Paucar

2024

PICG PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN GEOQUÍMICA
PERSONAL PARTICIPANTE

Geoquímico principal
Dr. T. M. Williams

Líder del proyecto
Dr. J. A. Aspden

CODIGEM
Mr. W. Castillo
Mr. E. Cruz
Mr. V. Acitimbay

OPERACIONES DE CAMPO

N. Báez	J. Bolaños	E. López
M. Montero	G. Galarza	R. Rosales
H. Núñez	L. Pilatasig	F. Núñez
A. Tupipamba	J. Galarza	E. Hinojosa
F. Grijalva	L. Saltos	E. Romero
J. Segovia	R. Toro	M. Cruz

Referencia

Williams, T., Castillo, W., Cruz, E. & Acitimbay, V. (1999 *Investigación Geoquímica de Reconocimiento de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 1°00' y 2°00'S* (Stalyn Paucar, Ed. y Trad., 2024). Informe Número 9. Programa de Información y Cartografía Geológica. BGS-CODIGEM/MEM.

CONTENIDO

FIGURAS

TABLAS

1. INTRODUCCIÓN

Este informe resume la metodología y los resultados del reconocimiento geoquímico de drenajes del sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental de Ecuador, cuyo muestreo se realizó durante el período de septiembre de 1996 a agosto de 1998 bajo el subcomponente 3.4 (Cartografía Temática) del Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA). Un paquete de datos digitales para esta área está disponible comercialmente a través de PRODEMINCA, de acuerdo con el requisito de muchos usuarios potenciales de realizar una interpretación independiente de los datos en una amplia gama de aplicaciones de software.

2. ÁREA DE COBERTURA

La zona de cobertura del estudio descrito en este informe se extiende entre las longitudes 78°40'W-79°30'W y las latitudes 1°0'-2°0'S (coordenadas UTM SAD69 680000-760000E y 9780000-9890000N). El área total muestreada es de aproximadamente 6750 km² (ver ilustración de la portada). Gran parte del sector oriental del cuadrángulo se caracteriza por un terreno de más de 3000 m, incluyendo la ubicación más alta de Ecuador, el estratovolcán Chimborazo de 6310 m. Los drenajes tienden predominantemente hacia el sur a través del sistema Río Salinas-Chimbo, y hacia el oeste a través de los sistemas Río Angamarca, Río Soloma-Sibimbi y Río La Plata (Fig. 1).

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 Visión general

Un mapa geológico a escala 1:200000 del sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental ha sido publicado por BGS-CODIGEM (1997). Una descripción detallada de la litoestratigrafía, estructura y mineralización del área es proporcionada por McCourt et al. (1997), de la cual se han extraído las siguientes notas. Un mapa geológico simplificado, también basado en este trabajo, se proporciona en la Fig. 2. Las secuencias cartografiadas en el área varían en edad desde el Cretácico hasta el Cuaternario. Las rocas más antiguas son basaltos oceánicos de la Unidad Pallatanga, encontradas en contacto tectónico con dos secuencias de turbiditas: la Unidad Yunguilla de edad Cretácico Tardío y la Formación Apagua de edad Eocena. Esta última está en contacto tectónico hacia el oeste con la unidad volcanoclástica Macuchi de edad Paleoceno a Eoceno Temprano-Medio. A lo largo del borde oriental del área, estas rocas están cubiertas en discordancia por rocas volcánicas calcoalcalinas de margen continental intermedio a ácido de edad Mioceno Medio a Tardío. Las rocas más jóvenes del área son los productos del volcanismo del Plioceno al Cuaternario y la sedimentación del Holoceno.

Las fallas son ubicuas, dividiendo la cordillera en una serie de bloques con tendencia NNE-SSW. Estos están vinculados por un sistema de fallas anastomosadas complejas, limitadas al este y oeste por estructuras corticales profundas mayores: el sistema de fallas de Pallatanga y la zona de fallas Chimbo-Cañi. También ocurren fallas más jóvenes con tendencia N-S, con un componente vertical significativo (por ejemplo, el Lineamiento del Río Chimbo). Los pliegues, aunque probablemente presentes en todas las unidades pre-Pliocenas, son más evidentes en las secuencias Yunguilla y Apagua, que están plegadas alrededor de ejes N-S a NE-SW.

3.2 Unidad Pallatanga (McCourt et al., 1997)

La Unidad Pallatanga es una secuencia cretácica de rocas básicas a ultrabásicas de afinidad oceánica. Las litologías incluyen basalto, volcanoclásticos basálticos, microgabro-diabasa, peridotita y raras lavas almohadilladas. La unidad está expuesta en el sureste del área como una serie de tajadas tectónicas dentro de la Unidad Yunguilla y la Formación Apagua.

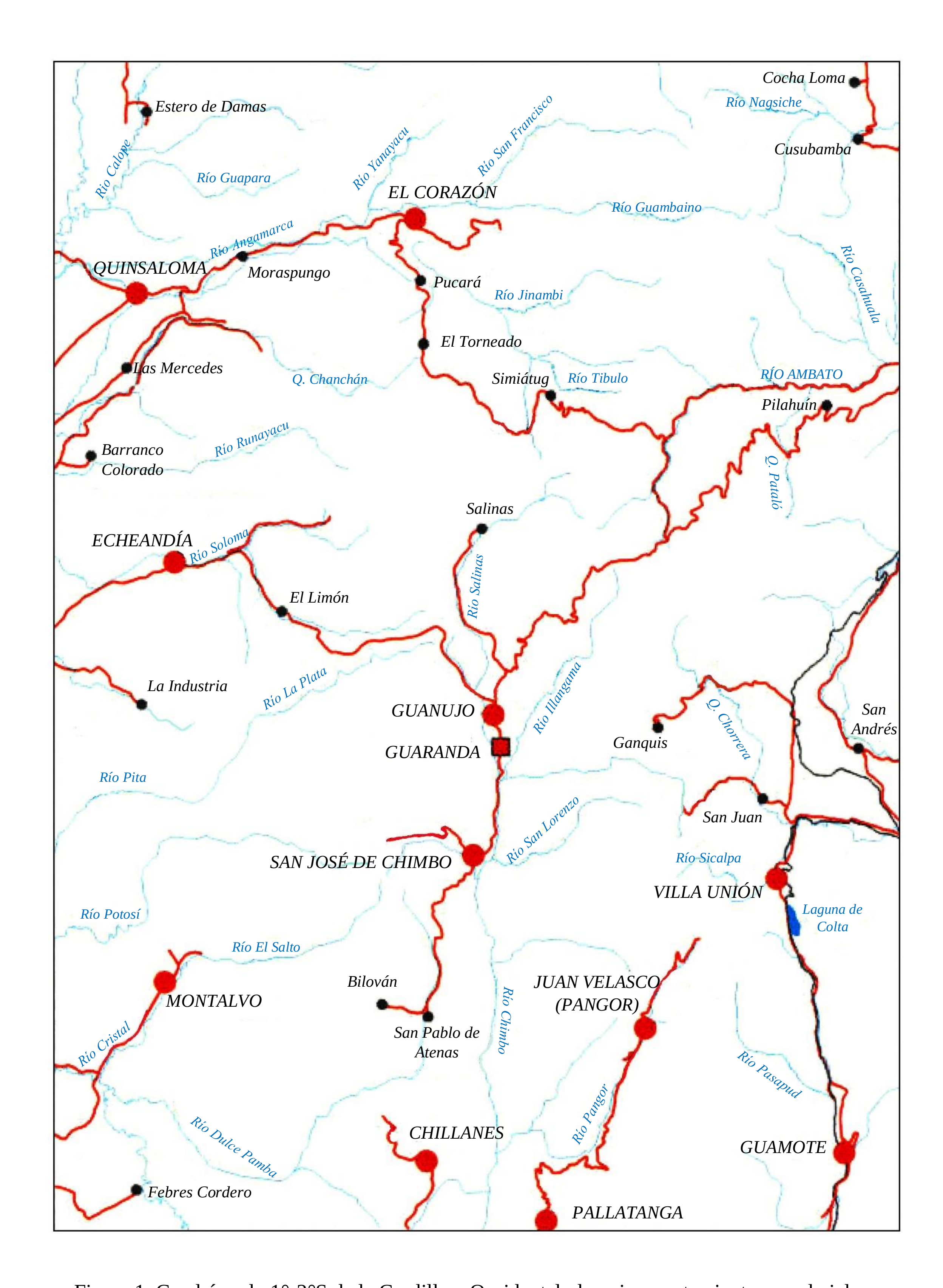


Figura 1. Cuadrángulo 1°-2°S de la Cordillera Occidental: drenaje, asentamientos y red vial

3.3 Unidad Yunguilla (cf. Formación Yunguilla, Thalmann, 1946)

La Unidad Yunguilla es una secuencia de turbiditas marinas de grano fino de edad Cretácica Tardía, caracterizada por sedimentos de capas delgadas e irregulares. Aflora en el sureste del área como una franja de orientación NNE con un ancho de 0.65 a 11.0 km, ocupando una posición estructural a lo largo del margen oriental de la cordillera adyacente a la zona de fallas Pallatanga-Pujilí. Las principales litologías son lodolitas negro-gris, limolitas negras silíceas localmente calcáreas, areniscas finas bien clasificadas y calizas grises. Se interpreta que la secuencia, al menos en parte, se depositó sobre la Unidad Pallatanga por corrientes de turbidez poco después de la acreción de esta última contra el margen continental.

3.4 Unidad Macuchi (cf. Henderson 1979; Egüez, 1986)

La Unidad Macuchi es una secuencia de arco submarino volcanoclástico del Terciario Temprano. Aflora en aproximadamente el 35% del cuadrángulo 1°-2°S y domina la mitad occidental del mapa. Hacia el oeste está en contacto discordante con los depósitos cuaternarios. Hacia el este, su contacto principal es con las turbiditas de la Formación Apagua. Este último contacto se interpreta como una falla mayor, yuxtaponiendo dos secuencias contemporáneas, pero litológicamente distintas. Los principales tipos de rocas reconocidos son (en orden de abundancia) areniscas volcánicas, brechas, tobas, limolitas volcánicas, cherts, brechas almohadilladas, hialoclastitas, diabasa-microgabro, basaltos subporfídicos y calcarenitas. Los análisis geoquímicos de seis muestras (McCourt et al., 1997) indican una composición predominantemente de basalto subalcalino o andesita basáltica con características toleíticas calcoalcalinas. Todas las muestras tienen cuarzo normativo y bajas relaciones Ti/V, típicas de basaltos de arco de islas.

3.5 Grupo Angamarca (Hughes y Bermúdez, 1997)

El Grupo Angamarca comprende las Formaciones Pilaló, Apagua, Unacota, Rumi Cruz y Gallo Rumi. El espesor total de la secuencia es de aproximadamente 4000 m, depositada desde el Paleoceno hasta el Eoceno Tardío. Las turbiditas clásticas de la Formación Apagua son la litología dominante y, en la mayor parte del área, definen el contacto fallado principal con la Unidad volcanoclástica Macuchi hacia el oeste. Se interpreta que el Grupo Angamarca se depositó en un ambiente de delta-abanico marino, con material clástico maduro derivado de la reestructuración de una fuente fluvial continental. Este modelo implica un levantamiento y puede señalar un evento tectónico mayor en el Eoceno Tardío. Aunque la zona fuente de los sedimentos no está comprobada, el alto porcentaje de cuarzo apoya un origen continental siálico.

3.6 Unidad Arrayanes (McCourt et al., 1997)

La Unidad Arrayanes es una secuencia subhorizontal de sedimentos de grano fino y lavas de andesita basáltica a andesítica de probable edad Eoceno Tardío. Está presente solo dentro del área del afloramiento Macuchi. Comprende lodolitas silíceas de estratos regulares y cuarzo-arenitas de grano fino, areniscas volcánicas de grano fino verdes ricas en máficos con tobas subordinadas, e intercalaciones de basaltos afíricos o andesitas basálticas subporfídicas con fenocristales de plagioclasa. Los contactos con la Unidad Macuchi subyacente están mal expuestos, pero parecen ser discordantes. La Unidad Arrayanes se interpreta tentativamente como una secuencia de turbiditas distales, depositadas sobre el bloque alóctono Macuchi ya sea después o durante su acreción a la Placa Sudamericana. Los sedimentos pueden derivarse, en parte, de la erosión del arco emergente, y los volcanes representan las etapas finales de la actividad del arco.

3.7 Grupo Saraguro (no diferenciado; Dunkley y Gaibor, 1997)

El Grupo Saraguro es una secuencia de rocas volcánicas subaéreas de composición intermedia a ácida, calcoalcalinas, con importantes horizontes de tobas soldadas (ignimbritas) en la parte superior y lavas andesíticas hacia la base. Se correlaciona, en parte, con la Formación Saraguro de Kennerley (1973), y el Grupo Saraguro de Baldock (1982). Gran parte del grupo se asigna a una edad Oligocena, con un rango general desde el Eoceno Tardío hasta el Mioceno Temprano (38.6-22.8 Ma). En el área 1°-2°S, el afloramiento está confinado a una franja norte-sur de unos 20 km de largo y 2-4 km de ancho, expuesta a lo largo del contacto Macuchi-Apagua al este de Guaranda. Las litologías comprenden una mezcla de lavas andesíticas porfídicas gris-verdes, con fenocristales de plagioclasa ± hornblenda, brechas y tobas, estas últimas con fragmentos. Sobreyacen de manera discordante a la Formación Apagua y son sobreyacidas de la misma forma por rocas volcánicas más jóvenes del Grupo Zumbagua. Se considera que el Grupo Saraguro es el resultado del volcanismo del margen continental que siguió a la acreción del terreno del arco Macuchi.

3.8 Grupo Zumbagua (Hughes y Bermúdez, 1997)

El Grupo Zumbagua comprende rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de edad Mioceno Medio a Tardío. La secuencia cubre gran parte del noreste del mapa, sobreyace de manera discordante a las unidades Apagua, Arrayanes y Macuchi, así como al Grupo Saraguro. Localmente, está cubierta de manera discordante por volcánicos Plio-Cuaternarios. Las litologías son predominantemente de grano grueso, comprendiendo areniscas muy mal clasificadas y brechas de debris no clasificadas en estratos de hasta varios metros de espesor. Además, en la parte occidental de la secuencia están presentes tobas andesíticas a dacíticas grises con fenocristales de plagioclasa, sobreyacidas por unidades laháricas compuestas horizontales espectaculares de más de 40 m de espesor alrededor de Salinas.

3.9 Formación Cisarán (Dunkley y Gaibor, 1997)

Dentro del cuadrángulo 1°-2°S, la Formación Cisarán (Mioceno Tardío) se extiende hacia el sur desde Chimborazo hasta el límite del área. Está mejor expuesta a lo largo del camino de Pallatanga a El Olivo [7341-97802], donde lavas andesíticas con fenocristales de plagioclasa y tobas, anteriormente incluidas en la Formación Alausí, están sobreyacidas por areniscas tobáceas, limolitas y areniscas volcánicas finas de color verde a púrpura. La Formación sobreyace y cubre la topografía preexistente del Grupo Saraguro y es sobreyacida por depósitos de ceniza y pómez del Cuaternario.

3.10 Volcánicos plio-pleistocénicos no diferenciados

Los volcánicos Plio-Pleistocenos no diferenciados incluyen la secuencia post-Zumbagua anteriormente referida como los *Volcánicos Lourdes* y los *Volcánicos de Sagoatoa* (DGGM, 1978-1979). Los primeros afloran al oeste y suroeste de San Miguel de Bolívar, comprendiendo litologías ácidas profundamente meteorizadas con grandes fenocristales de cuarzo ± feldespato. Muestran una alteración hidrotermal argílica extensa, silicificación y mineralización de sulfuros (calcopirita-pirita, ± bornita). Litologías similares están presentes al suroeste de Sicoto, pero sin una alteración hidrotermal análoga. Los Volcánicos de Sagoatoa están expuestos al noroeste de Ambato y comprenden lavas y tobas subordinadas.

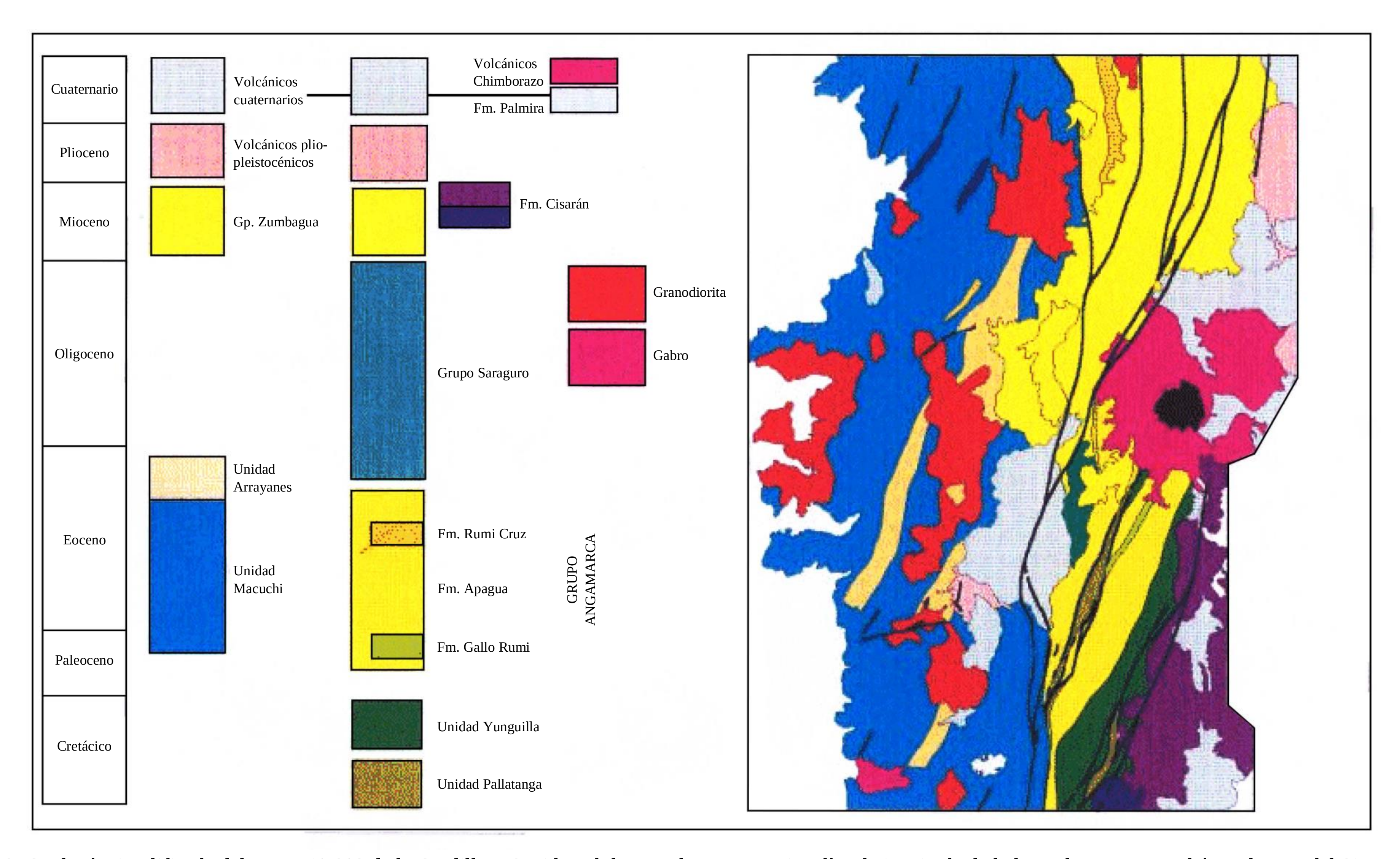


Figura 2. Geología simplificada del sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental de Ecuador. La estratigrafía a la izquierda de la leyenda representa el área al oeste del Sistema de Fallas Chimbo-Cañi. La estratigrafía a la derecha representa el área al este. La posición de las rocas intrusivas dentro de la leyenda no tiene significado estratigráfico.

3.11 Volcánicos cuaternarios no diferenciados

Los volcánicos cuaternarios no diferenciados corresponden principalmente a los *Volcánicos Cotopaxi* de BGS-CODIGEM (1993a) y a la combinación de la Formación Cangagua, los Grupos Altar y Cotopaxi de Baldock (1982). La secuencia incluye tobas de caída aérea del Pleistoceno, brechas y aglomerados, y lavas andesíticas de los centros más antiguos como Chimborazo, Carihuairazo y los Illinizas. Estos están cubiertos por ceniza volcánica, pómez, flujos de escombros y lavas menores derivadas de volcanes más jóvenes y centros volcánicos como Cotopaxi, Tungurahua, Pululahua y Quilotoa. Los productos de los centros más antiguos son principalmente andesíticos, mientras que los más jóvenes son más variables con fases tempranas de actividad dacítica seguidas por una fase andesítica mayor y finalmente flujos basálticos.

3.12 Volcánicos del Chimborazo y Carihuairazo

Los productos eruptivos del Chimborazo incluyen lavas, flujos piroclásticos, avalanchas de escombros, lahares y depósitos de caída de ceniza. Varían en composición desde andesitas basálticas hasta dacitas con hornblenda, con un rango de SiO_2 de 56-65% (Hall y Mothes, 1994). La actividad eruptiva en Chimborazo y Carihuairazo probablemente se inició en el Pleistoceno Temprano. Las lavas del Carihuairazo y las lavas más antiguas de Chimborazo comprenden andesitas porfídicas con piroxeno. Las lavas más jóvenes de Chimborazo están confinadas a las laderas sureste y comprenden andesitas vesiculares con fenocristales de piroxeno y dacitas raras. Los productos más jóvenes de Chimborazo se encuentran a lo largo de sus laderas occidentales, comprendiendo tobas escoriáceas y pumíticas de grano grueso que contienen feldespato, piroxeno, magnetita y litoclastos andesíticos, lavas andesítico-dacíticas y flujos de escombros/lahares.

3.13 Depósitos aluviales y coluviales cuaternarios

El aluvión holoceno cubre los principales valles fluviales. Ocasionalmente, están presentes terrazas fluviales más antiguas, por ejemplo, a lo largo del Río Chimbo. Depósitos extensos de coluvión, incluyendo conos aluviales, se encuentran a lo largo del margen occidental de la cordillera.

3.14 Rocas intrusivas

Plutones e intrusiones menores están presentes en toda el área mapeada, pero son más prominentes en la mitad occidental. Los cuatro más grandes son, de norte a sur, los plutones El Corazón, Echeandía (La Industria), Chazo Juan y Balzapamba. En términos generales, todas las intrusiones se pueden dividir en dos grupos: plutones mayores de granitoides calcoalcalinos de tipo I emplazados dentro de la secuencia volcanoclástica Macuchi, y diques porfídicos y microtonalíticos, láminas y stocks que intruyen la secuencia de flysch y volcánica más joven, a menudo a lo largo de estructuras de falla.

Los datos geoquímicos de roca total para los granitoides del área 1°-2°S muestran un rango composicional desde cuarzodiorita-tonalita hasta granodiorita. En los diagramas de clasificación tectónica de Whalen et al. (1987) y Pearce et al. (1984) se ubican como granitoides de arco volcánico orogénico. En los diagramas spider normalizados muestran enriquecimiento de LIL, con depleción de Nb, Ti y Y-Yb. Esto último es típico de los magmas calcoalcalinos formados en un contexto de subducción. La datación K/Ar de 32 muestras de hornblenda y/o diorita sugiere el emplazamiento de las intrusiones mayores desde el Oligoceno Temprano hasta el Mioceno Medio (34-14 Ma) con pulsos mayores a 34-30 Ma, 26-19 Ma y 16-14 Ma.

Un cuerpo gabroide mayor está presente en el extremo suroeste del área. Comprende una mezcla de litologías que incluyen gabro, cuarzo-gabro, diorita con hornblenda, microgabro y pegmatitas con hornblenda. Las rocas gabroicas, particularmente microgabro-diabasa, también son relativamente comunes en todo el afloramiento de la Unidad Macuchi.

3.15 Estructura

La Cordillera Occidental está limitada al este y al oeste por fallas profundas, interpretadas como suturas. Al oeste, está aproximadamente definida por la zona de falla Guayaquil-Babahoyo-Santo Domingo, con orientación norte-noreste (Baldock, 1982), que se extiende hacia Colombia como la Falla El Tambor-Río Mira. Al este, está limitada por la compleja zona de falla Calacalí-Pallatanga, con orientación norte-noreste (Aspden et al., 1987), y su extensión hacia Colombia, la Falla Cali-Cauca-Patía (McCourt et al., 1984). Dentro de la Cordillera, bloques alargados limitados por fallas definen varios terrenos distintos.

En el área de 1°-2°S, las principales estructuras con orientación noreste se encuentran en el sureste del área mapeada, formando parte del Sistema de Falla Pallatanga. Al norte de Pallatanga, el componente principal de este sistema se renombra como la Falla Pangor, una falla inversa local subvertical, con buzamiento hacia el este, a lo largo de la cual las rocas de la Unidad ofiolítica Pallatanga han sido empujadas hacia el oeste sobre la Unidad Yunguilla.

Al oeste de la zona principal de fallas hay numerosos conjuntos de fallas paralelas, la más importante de las cuales es la Falla Tambillo que se extiende desde el margen sur del cuadrante hasta el estratovolcán Chimborazo. Esta estructura se interpreta como una falla satélite del sistema Pallatanga, posiblemente reactivada durante el Mioceno al Plioceno y coincidiendo con el desarrollo de las principales cuencas intermontanas del sur de Ecuador. Inmediatamente al oeste de la Falla Tambillo, se interpreta que el Lineamiento del Río Chimbo forma parte de una extensa sutura del Eoceno Tardío relacionada con la acreción del terreno Macuchi al continente sudamericano.

3.16 Mineralización metálica

Hay relativamente poca mineralización económica conocida en el área. Las principales áreas de interés con respecto a la mineralización de metales base y preciosos fueron identificadas durante el Proyecto San Miguel llevado a cabo por DGGM (ahora CODIGEM) e IGS (ahora BGS) entre 1975-1979. Se identificaron y recomendaron para mayor investigación varios prospectos de pórfido de cobre ± oro-molibdeno (Aucott et al., 1979). Casi todos están relacionados con intrusiones granitoides o sus contactos con la Unidad Macuchi. El seguimiento limitado llevó a la identificación de nueve áreas de interés prioritario dentro del sector 1°-2°S: Chazo Juan [706-9846], La Industria-Yatubi [688-9826], Tres Hermanas [700-9826], Telimbela [704-9816], Balzapamba [703-9805 a 708-9808], San Miguel [716-9808], Las Guardias [708-9800], Sicoto [712-9798] y Tambillo [723-9784]. Todas estas áreas fueron evaluadas y las más prometedoras continuaron como parte del Proyecto Bolívar (Fases I-III) llevado a cabo por JICA e INEMIN (ahora CODIGEM) entre 1988-1991. Esto incluyó perforaciones en El Torneado [708-9808], Osohuayco [7075-9806] y NE Telimbela en Ashuaca [7056-98172].

4. PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO Y ANALÍTICOS

4.1 Sistema de numeración

Se utilizó un sistema de numeración aleatoria basado en el de Plant (1973) y Garrett (1983) a lo largo del estudio geoquímico de la Cordillera Occidental para evitar fronteras de campaña inducidas analíticamente (dentro o entre áreas del mapa) y/o la generación de anomalías espurias de múltiples muestras. Antes del muestreo del área del proyecto, se numeraron secuencialmente, aleatorizaron y entregaron varios miles de bolsas de muestra. Al regresar al laboratorio de CODIGEM, todas las bolsas de muestra llenas se reordenaron y enviaron para su análisis en lotes secuenciales de aproximadamente 120 muestras. A través de este procedimiento, las fluctuaciones analíticas a corto plazo (que afectan a uno o más lotes de muestras) se manifiestan como ruido analítico en toda el área del proyecto, en lugar de como tendencias locales o subregionales discretas.

4.2 Procedimiento de muestreo en campo

Las muestras de sedimento de drenaje fueron recolectadas por dos equipos de muestreo, cada uno compuesto por ocho prospectores capacitados. Las muestras se recolectaron durante cinco comisiones, cada una de tres semanas de duración, en condiciones de temporada seca (mayo-diciembre). Se recolectaron un total de 2150 muestras de un área de aproximadamente 6700 km^2, lo que representa una resolución promedio de 1 muestra por 3.1 km^2. En todos los casos se hizo énfasis en la recuperación de muestras de drenajes de primer o segundo orden, restringiendo así áreas de procedencia relativamente pequeñas.

La metodología de muestreo desplegada a lo largo del levantamiento de la Cordillera Occidental se derivó de la de Plant y Moore (1979), y es en gran medida conforme con el protocolo global IGCP 259/360 para el Mapeo Geoquímico Internacional (Darnley et al., 1995). Las estaciones de muestreo se ubicaron río arriba de posibles fuentes de perturbación (vivienda, actividad industrial, descargas agrícolas o estructuras de puente). En cada sitio se recolectaron varios kilogramos de detritos del canal activo tras eliminar el horizonte interfacial enriquecido en óxidos hidratados. El aluvión se tamizó en húmedo a través de un tamiz de malla 80 BSI (177 μm) usando un volumen mínimo de agua para evitar la pérdida de fracciones de limo y arcilla. Después de un período de sedimentación de aproximadamente 20 minutos, se decantó el agua clara que cubría el sedimento y se transfirieron aproximadamente 100 g del sedimento restante a una bolsa Kraft pre-numerada para su transporte y almacenamiento.

La selección de una fracción de sedimento de malla 80 BSI para su uso en todo el levantamiento se basó en un estudio de orientación de Dunkley et al. (1997) en la cuenca del Río Junín. La fracción refleja efectivamente tanto firmas de dispersión mecánica como hidromórfica (por ejemplo, Williams et al., 1992) y evita el problema logístico de recolectar una masa suficiente de material más fino (malla 100 BSI o menor) de los sistemas de drenaje de alta energía que caracterizan gran parte de las tierras altas de la Cordillera Occidental.

4.3 Preparación de muestras

Al regresar del campo, todas las muestras se secaron al aire a <40°C, evitando así cualquier pérdida de Hg u otros elementos volátiles. Luego, las muestras se desagregaron con un mortero y pilón prelavados para obtener un polvo fino y homogéneo. Éste se submuestreó utilizando la técnica de cono y cuarteo para producir un alícuota de aproximadamente 50 g para el análisis multielemental.

4.4 Análisis

Los análisis químicos de los sedimentos se realizaron en los laboratorios de Bondar Clegg Ltd. en Vancouver utilizando cuatro métodos independientes.

4.4.1 Oro

Se analizaron muestras de 30 g para Au mediante ensayo al fuego con determinación subsiguiente del producto fundido por espectrofotometría de absorción atómica (AAS).

4.4.2 Cationes principales y traza

Se determinó simultáneamente un conjunto de 34 cationes principales y traza (Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Ni, Co, Cd, Bi, As, Sb, Fe, Mn, Te, Ba, Cr, V, Sn, W, La, Al, Mg, Ca, Na, K, Sr, Y, Ga, Li, Nb, Sc, Ta, Ti, Zr) mediante espectroscopía de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) tras la digestión de alícuotas de 1.0 g en 100 ml de aqua regia (ARISTAR). El uso de aqua regia en lugar de un método de disolución total basado en HF refleja las respuestas superiores de pico/fondo a la mineralización obtenidas durante estudios de orientación realizados por la Misión Geológica Británica en Junín (Dunkley et al., 1997).

4.4.3 Metaloides

Debido a la baja resolución (5 mg/kg en sólido) de los análisis de metaloides por ICP-AES, se obtuvieron datos adicionales para As y Sb mediante generación de hidruros AAS. Un sistema de introducción por inyección de flujo (FIA) según Nakashima (1979) facilitó la reducción de As a arsina y la inyección en la cámara de aspiración simultáneamente mediante la combinación de un flujo de 0.2% de $NaBH_2$ con el portador de la muestra.

4.4.4 Mercurio

El Mercurio total se determinó por AAS de vapor frío (CV-AAS) tras la digestión con aqua regia de alícuotas de sedimento de 1.0 g bajo reflujo caliente.

5. CONTROL DE CALIDAD

5.1 Varianza del muestreo

Para 31 elementos, la varianza estadística atribuible a la heterogeneidad del sedimento en el sitio y/o al sesgo de muestreo se calculó para toda el área de estudio de la Cordillera Occidental utilizando una técnica modificada de análisis de varianza (ANOVA) (Plant et al., 1975). Se analizaron muestras duplicadas de sedimentos adquiridas mediante muestreo repetido en sitios de drenaje seleccionados (con una frecuencia máxima de 2 por cada 100) y los resultados se utilizaron para determinar la varianza del muestreo utilizando la técnica de sumas de cuadrados (Bolviken y Sinding-Larsen, 1973). En casos donde ambos duplicados de un solo sitio arrojaron valores por debajo del límite de detección, el registro se excluyó del cálculo. Las estadísticas resumidas se proporcionan en la Tabla 1. No se citan pruebas estadísticas F, ya que los datos no satisfacen completamente las suposiciones del análisis ANOVA convencional. Es importante enfatizar que los datos de varianza del muestreo se derivan de la determinación analítica de duplicados de campo. Por lo tanto, los valores solo adquieren significado interpretativo cuando exceden el umbral correspondiente de precisión analítica.

5.2 Precisión analítica

La precisión (p) es un índice de la reproducibilidad de las determinaciones analíticas convencionalmente definida como:

$$p = \left(\frac{2s}{x}\right) * 100\%$$

El término se distingue de la exactitud, que refleja la relación entre una determinación individual o un grupo de determinaciones y la verdadera composición de la matriz. En la exploración, los índices de precisión analítica son críticos ya que proporcionan una visión de la intercomparabilidad de los datos para muestras individuales o lotes de muestras.

Los datos de precisión analítica para los cuadrángulos 0°-1°S y 1°-2°S de la Cordillera Occidental se derivaron de dos ejercicios estadísticos basados en el análisis duplicado de alícuotas de sedimento homogeneizado (Plant et al., 1975; Thompson y Howarth, 1978). El primero implicaba un cálculo de la variación de la desviación estándar (s_c) en un rango de concentración empíricamente definido (c) de acuerdo con la función lineal:

$$s_c = s_0 + kc$$

donde s_0 es la desviación estándar en concentración cero y k es el gradiente de la línea recta. Los valores de s_0 y k se obtuvieron mediante:

(i) Determinación de medias $\frac{x^1+y^1}{2}$ y diferencias absolutas $(x^1 - y^1)$ para todos los pares duplicados.

(ii) Clasificación de los pares duplicados por orden ascendente de la media.

(iii) Cálculo de la ‘media de medias’ y la ‘mediana de diferencias’ para grupos discretos de 11 pares duplicados (8 grupos = 88, con 3 descartados).

(iv) Regresión de la mediana contra los valores medios determinados en (iii) para obtener s_0 (intercepto) y k (gradiente).

El segundo método utilizó una serie de gráficos de control de precisión en los que se trazaron líneas de concordancia del percentil 90 y 99 para uno o más niveles de precisión predeterminados. Los resultados derivados de ambos métodos, y utilizados sistemáticamente en el control de calidad de los datos para el cuadrángulo 1°-2°S, se resumen en la Tabla 2.

Tabla 1. Datos de varianza del muestreo, basados en el análisis ANOVA de muestras duplicadas de estaciones de campo seleccionadas dentro del área de estudio de la Cordillera Occidental.

Elemento	%varianza	Elemento	%varianza	Elemento	%varianza	Elemento	%varianza
Ag	7.1	**Sn**	15.2	**As**	3.1	**Ga**	11.6
Cu	3.1	**W**	21.7	**Sb**	6.9	**Y**	21.2
Pb	7.1	**La**	4.3	**Fe**	6.6	**Nb**	15.4
Zn	4.7	**Al**	3.6	**Mn**	7.1	**Sc**	16.0
Mo	25.0	**Mg**	7.1	**Bi**	17.5	**Ti**	4.4
Ni	12.4	**Ca**	12.5	**Ba**	3.2	**Zr**	12.1
Co	3.5	**Na**	12.2	**Cr**	9.3	**Hg**	21.7
Cd	4.2	**K**	9.4	**V**	4.9		

Tabla 2. Umbrales de precisión para elementos seleccionados aplicados para el control de calidad de los datos analíticos del cuadrángulo 1°-2°S de la Cordillera Occidental.

Elemento	Precisión estimada %		Elemento	Precisión estimada %	
	M-1	M-2		M-1	M-2
Ag	-	25	**As**	9.76	7
Cu	5.86	15	**Sb**	21.34	15
Pb	5.64	20	**Mn**	6.24	7
Zn	7.16	10	**Fe**	-	15
Mo	12.61	10	**V**	28.32	25
Ni	11.44	20	**Cd**	25.61	10
Co	24.6	20	**Hg**	35.06	15
Ba	10.98	20	**Li**	23.95	5

5.3 Estándares de control

5.3.1 Estándares de control del PICG

Tres estándares de control derivados de sedimentos fluviales dentro del área del proyecto (Río Junín, J-1; Río Angamarca, COR-1; muestra híbrida, M-1) fueron caracterizados en los laboratorios del Reino Unido del British Geological Survey mediante una combinación de métodos de ICP-AES, espectrometría de masas por ICP (ICP-MS) y fluorescencia de rayos X (XRF) al inicio del estudio de la Cordillera Occidental (Tabla 3). Con la excepción de J-1, que contiene concentraciones anómalas de Cu (>96 percentil de la base de datos 1°-2°S), además de As y Sb moderadamente altos, estos estándares mantienen concentraciones de fondo de la mayoría de los elementos de interés económico.

Durante el análisis de muestras del área 1°-2°S, se introdujeron estándares de control adicionales derivados de localidades mineralizadas en Ponce Enríquez (PE), Cerro Negro (CN) y una mezcla de estos con muestras de fondo más bajo (M-2). Los análisis repetidos realizados por Bondar Clegg muestran que el estándar de Ponce Enríquez es altamente anómalo con respecto a una variedad de metales/metaloides, incluyendo As (media de 1476 mg/kg), Cu (media de 1062 mg/kg) y Au (media de 2.62 mg/kg). El estándar de Cerro Negro está fuertemente enriquecido en Cu (media de 398 mg/kg), Pb (125 mg/kg), Mo (44 mg/kg) y Sb (289 mg/kg) en relación con el conjunto de datos empíricos para el área 1°-2°S.

Tabla 3. Certificación de los estándares de control J-1, COR-1 y M-1 por el BGS, basada en la media de análisis por múltiples técnicas.

Elemento	**Valor BGS (ppm)**			**Elemento**	**Valor BGS (ppm)**		
	J-1	**COR-1**	**M-1**		**J-1**	**COR-1**	**M-1**
Ag	<0.2	<0.2	<0.2	**As**	12.5	5.0	7.0
Cu	175	23	79.5	**Sb**	3.3	0.6	1.4
Pb	3.5	5.0	7.0	**Mn**	468	375	413
Zn	61	43	50.5	**Fe (%)**	4.9	8.1	7.0
Mo	1.6	0.5	1.0	**V**	150	293	226
Ni	10.5	18.5	14.0	**Sr**	28.5	61.0	48.0
Co	10.7	14.8	12.9	**Cd**	ND	1.0	0.5
Ba	74	64.5	73	**Li**	5.9	6.0	5.5
Cr	44.5	82.0	65.0				

Dos submuestras de tres o más estándares de control fueron enviadas ciegamente a Bondar Clegg con cada lote de 120 muestras de campo. Los datos resultantes proporcionaron una base para evaluar (i) la precisión instrumental y (ii) la deriva temporal. Esta última fue evaluada de manera independiente a la precisión (sección 4.2) ya que comúnmente involucra un ajuste sistemático, por lo tanto, sujeta a corrección. Los datos analíticos de todos los estándares de control de la Cordillera Occidental son reportados por Williams et al. (1997).

El impacto de la deriva sistemática instrumental en el conjunto de datos 1°-2°S de la Cordillera Occidental fue evaluado utilizando gráficos convencionales de series temporales, como se ejemplifica en las Figuras 3-4. En casos raros en los que los valores de los estándares de control se desviaron simultáneamente más de 2 desviaciones estándar de la media, se aplicó una corrección apropiada. Existen ejemplos en los datos de series temporales mostrados para Zn, en los cuales los valores para los estándares presentados con los lotes analíticos 22-24 están sistemáticamente deprimidos.

5.3.2 Estándares de control del BGS

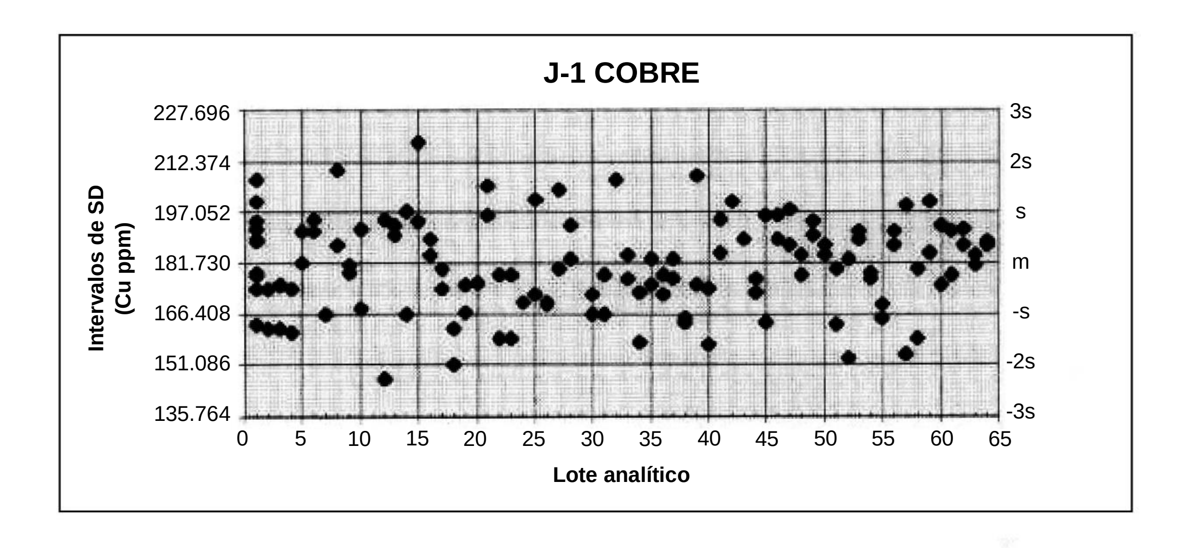
Además de los estándares de control del proyecto descritos, los estándares de referencia S13, S15, S24 y S3B del BGS fueron enviados para su análisis por Bondar Clegg. Estos estándares se derivaron de sedimentos fluviales de malla 100 BSI de terrenos británicos geológicamente variados. Todos han sido analizados en varios laboratorios europeos mediante una combinación de métodos de XRF, AAS, ICP-AES, ICP-MS y DRES. Las comparaciones interlaboratorio para estas muestras son proporcionadas por Williams et al. (1997). Los valores relativamente altos para elementos como Pb reflejan el uso por parte del BGS de una técnica analítica total (XRF) en lugar del método de digestión parcial (aqua regia) de Bondar Clegg.

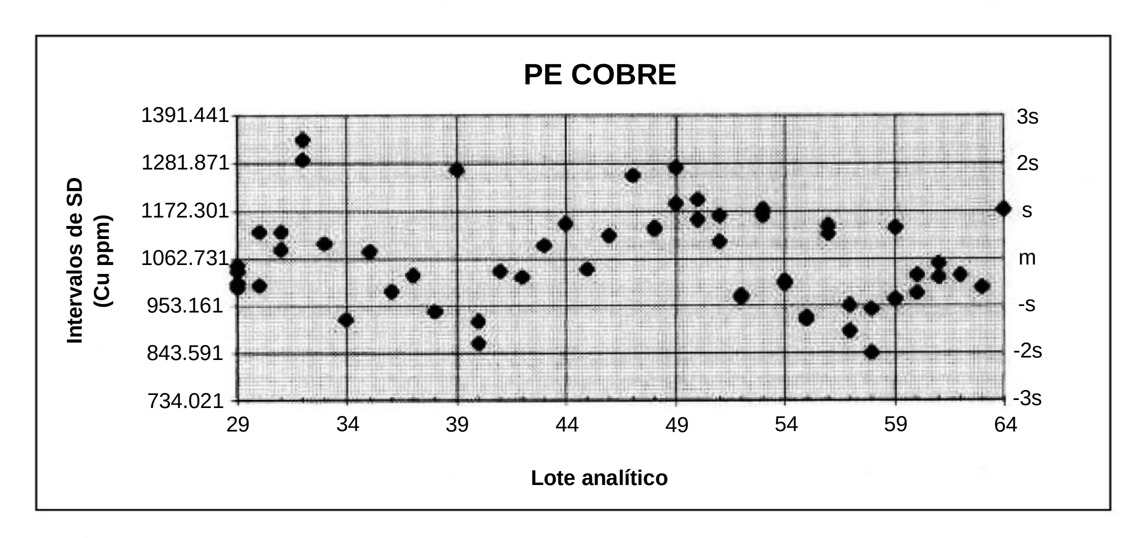
5.4 Límites de detección prácticos

Con la excepción del Au, los límites de detección analítica (LOD) proporcionados por Bondar Clegg no fueron adoptados para su uso en la validación de datos geoquímicos, ya que no tienen en cuenta las influencias de la matriz que se encuentran típicamente durante el análisis de materiales geológicos. En su lugar, los LODs prácticos para cada elemento se determinaron utilizando dos métodos. El primero implicó el análisis replicado de muestras de referencia en un rango de concentraciones, y la regresión de la desviación estándar contra la concentración media para cada valor para obtener un valor de la desviación estándar en concentración cero (s_0). Luego se calculó un LOD de $3s_0$ de acuerdo con UIPAC (1978). El segundo método involucró la derivación de s_0 utilizando el método de Thompson y Howarth (1978), como se describe en la sección 4.2. Los resultados de las determinaciones de LOD derivadas específicamente del análisis duplicado de muestras de referencia, realizado en conjunto con el análisis de muestras de campo del área 1°-2°S, se presentan en la Tabla 4. Se citan datos para ambos métodos, con el valor adoptado resaltado en cada caso.

Tabla 4. Límites de detección analítica de Bondar Clegg y determinados de manera independiente (valores adoptados resaltados). Todos los valores están en mg/kg a menos que se indique lo contrario

Elemento	Bondar Clegg	Método de extrapolación	Thompson y Howarth
Ag	0.2	**1.0**	0.9
Au	0.05	**-**	**-**
As	1	1.86	**2.5**
Ba	1	**0.45**	8.0
Bi	5	**4**	4.0
Cd	0.2	0.066	**0.69**
Cr	1	**0.3**	3.0
Co	1	2.15	**3**
Cu	1	**2.65**	4
Fe	0.01%	**0.7%**	0.3%
Hg	0.01	0.03	**0.04**
Li	1	**0.8**	0.8
Mn	1	47	**35**
Mo	1	**0.77**	0.7
Ni	1	**1.38**	1
Pb	2	**5.1**	6.0
Sb	0.2	**1.9**	0.74
Zn	1	**5.0**	15.0





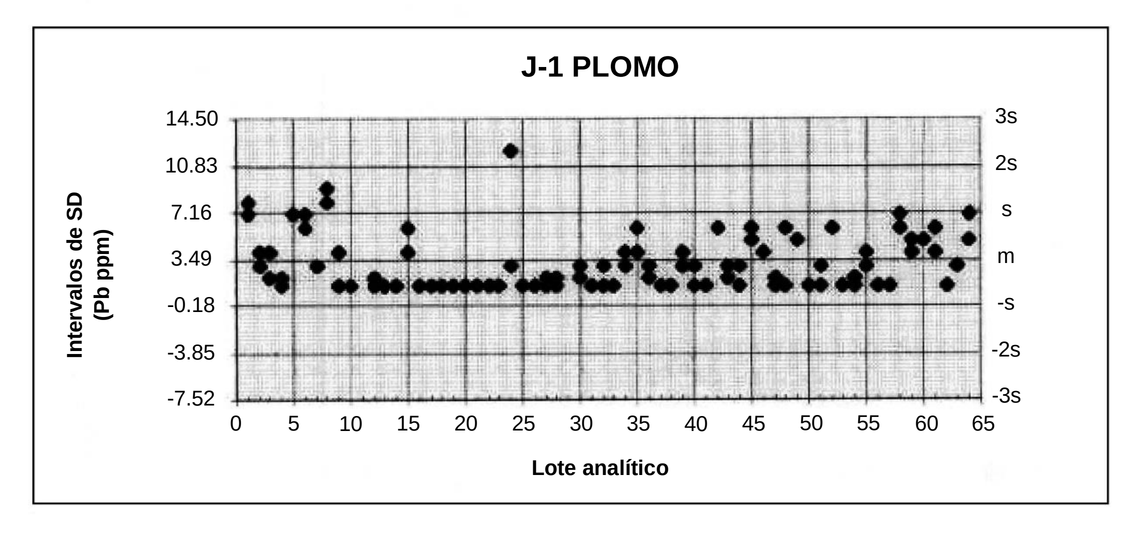
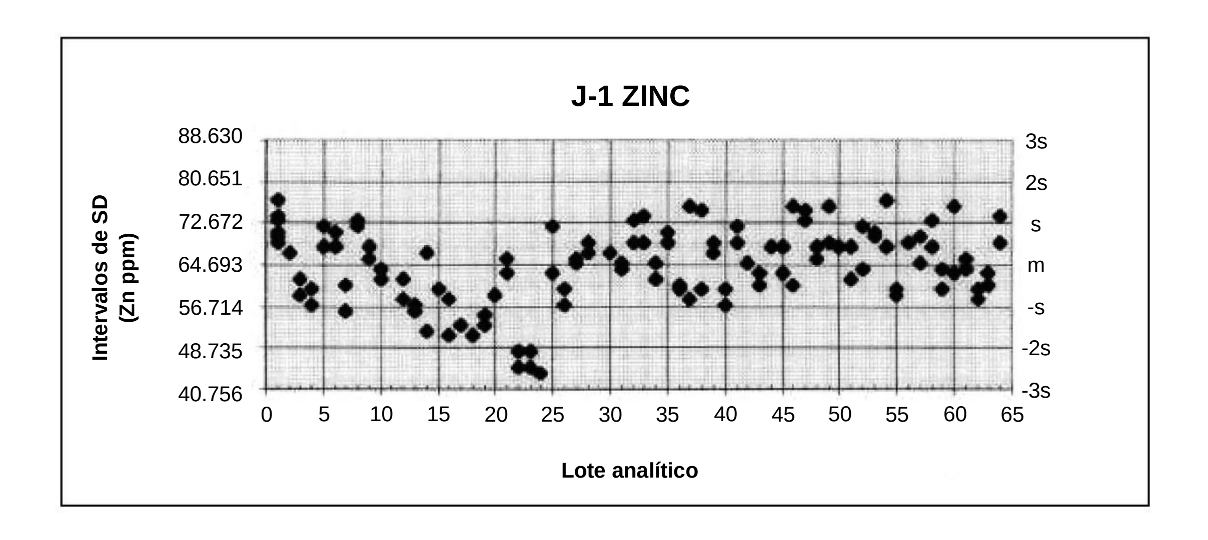
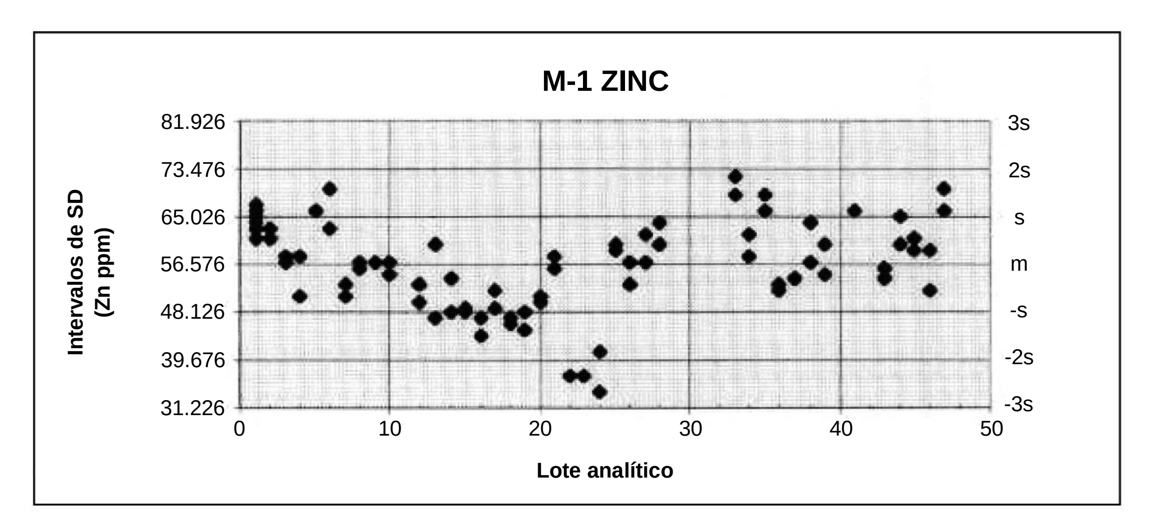


Figura 3. Gráficos de series temporales de control del Cobre y Plomo que muestran los resultados de análisis replicados de pares duplicados simultáneos de sedimentos de referencia ecuatorianos. La corrección del conjunto de datos empírico se aplica bajo el GIMP solo en casos donde AMBAS muestras dentro de un par duplicado se desvían de la media por >2SD para cualquier lote de muestras individual.





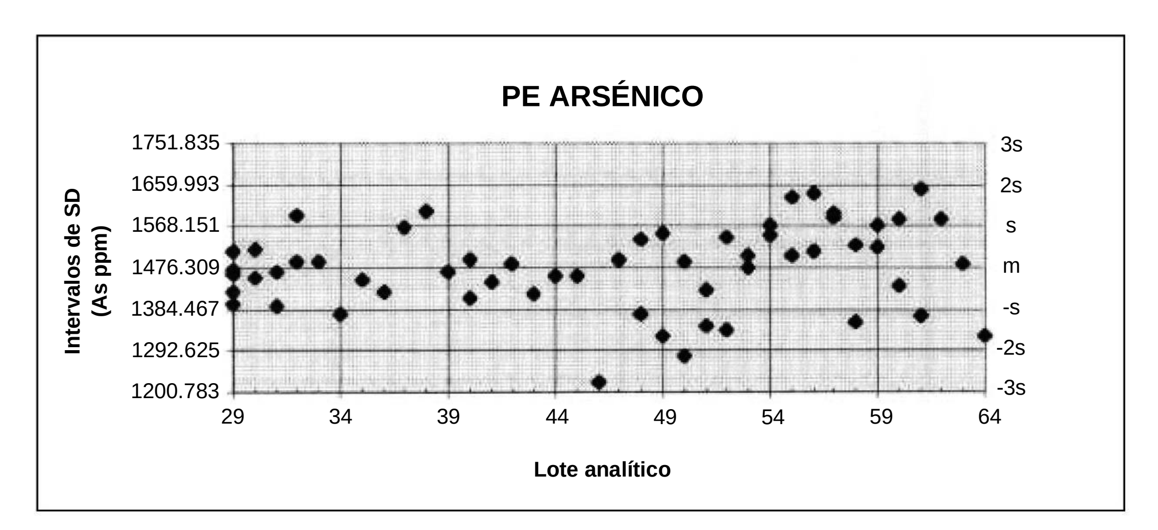


Figura 4. Gráficos de series temporales de control del Zinc y Arsénico que muestran los resultados de análisis replicados de pares duplicados simultáneos de sedimentos de referencia ecuatorianos. La corrección del conjunto de datos empírico se aplica bajo el GIMP solo en casos donde AMBAS muestras dentro de un par duplicado se desvían de la media por >2SD para cualquier lote de muestras individual. Se proporciona un ejemplo con los datos de Zn para los lotes 22-24.

6. RESULTADOS

6.1 Resumen de estadísticas

Se proporcionan estadísticas descriptivas geoquímicas para el cuadrángulo 1°-2°S de la Cordillera Occidental en la Tabla 5. El análisis de frecuencia acumulada de los datos indicó que las poblaciones para la mayoría de los elementos están sesgadas y son poco adecuadas para el análisis no paramétrico. Los análisis de correlación de Pearson (R) de los datos logarítmicamente normalizados (Tabla 6) destacan la fuerte covariación controlada litológicamente de elementos con fuertes afinidades máficas. Para Ni, Cr, Mg, Co, Fe, V, los coeficientes de correlación típicamente exceden 0.4, con un máximo de 0.86 registrado para Fe vs V. Zinc y Aluminio también muestran covariación estadísticamente significativa, aunque generalmente más débil con este grupo. El enriquecimiento común de Cu y Bi con Mo (en mineralización de tipo pórfido) está indicado por coeficientes de R de aproximadamente 0.35 para estos pares. Oro y sus indicadores comúnmente utilizados As, Sb y Hg no muestran ninguna covariación significativa.

6.2 Producción de gráficos

Se generaron mapas geoquímicos para el sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental (Figs. 5-7) utilizando un algoritmo de ponderación de distancia inversa (IDW) en el software comercial de exploración Interdex. Las líneas geológicas superpuestas en cada imagen corresponden a las utilizadas en la Figura 2, que por lo tanto proporciona una leyenda adecuada.

6.3 Terrenos litogeoquímicos

Las Figuras 5-7 destacan un contraste litogeoquímico pronunciado entre el Terreno Macuchi (la Unidad Macuchi y las rocas intrusivas emplazadas en ella) que domina el sector occidental del cuadrángulo 1°-2°S (al oeste de aproximadamente 725000 E) y las rocas volcánicas más recientes de Angamarca, Zumbagua y rocas volcánicas más recientes (en adelante, Terreno Zumbagua) al este. Por ejemplo, los valores de media y mediana de Cu (64 y 52 mg/kg), V (219 y 193 mg/kg) y Al (2.99 y 2.95%) en el primero son aproximadamente el doble que los del segundo, mientras que las concentraciones de Ca y Sr son un factor menor de dos (consultar Tablas 7-8). El Terreno Macuchi también arroja un valor de media de Au notablemente más alto (25.25 vs 11.89 µg/kg). Si bien está fuera del alcance de este informe, estos terrenos pueden justificar una investigación estadística independiente como base para una evaluación detallada de recursos.

Tabla 5. Estadística descriptiva para datos geoquímicos del sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental

	Estaciones	**Media**	**Des. Est.**	**Mín**	**Máx**	**Mediana**
Au	2150	21.10	110.54	3.33	3455.00	3.33
Ag	2150	0.53	0.24	0.66	2.70	0.66
Cu	2150	49.07	44.63	3.00	613.00	38.00
Pb	2150	6.92	9.50	1.33	288.50	5.00
Zn	2150	69.82	41.78	3.33	922.00	65.00
Mo	2150	1.39	1.35	0.66	26.00	0.90
Ni	2150	23.05	16.35	2.20	323.00	19.00
Co	2150	16.06	6.29	1.73	53.00	15.00
Cd	2150	0.41	0.34	0.13	10.40	0.46
Bi	2150	4.04	1.35	3.33	43.00	4.00
Fe	2150	4.93	2.33	0.05	10.00*	4.67
Mn	2150	611.15	393.86	22.66	10977.00	547.00
Te	2150	6.92	2.88	0.66	89.00	6.66
Ba	2150	118.52	68.33	3.60	1694.50	108.00
Cr	2150	53.19	37.21	2.46	669.00	44.00
V	2150	174.09	113.01	2.00	1029.00	150.00
Sn	2150	13.48	1.35	13.33	41.00	13.33
W	2150	13.37	0.64	13.33	28.00	13.33
La	2150	5.47	5.47	0.66	88.00	4.00
Al	2150	2.51	1.14	0.03	7.91	2.43
Mg	2150	0.60	0.38	0.01	3.82	0.52
Ca	2150	0.59	0.76	0.03	10.00*	0.45
Na	2150	0.05	0.03	0.01	0.29	0.04
K	2150	0.07	0.05	0.01	0.51	0.06
Sr	2150	45.73	30.09	-1.00	473.00	41.00
Y	2150	4.88	2.78	0.66	40.00	4.00
Ga	2150	4.00	3.45	1.33	47.00	3.00
Li	2150	6.79	4.76	0.80	53.00	6.00
Nb	2150	4.62	5.48	0.66	41.00	3.00
Sc	2150	6.18	4.10	3.33	30.00	3.33
Ta	2150	6.82	4.42	0.66	159.00	6.66
Ti	2150	0.16	0.06	0.01	0.79	0.15
Zr	2150	5.79	4.38	0.66	47.00	5.00
As	2150	7.17	31.46	0.66	1032.70	2.66
Sb	2150	1.06	0.50	0.13	7.90	1.26
Hg	2150	0.05	0.31	0.01	11.01	0.03

*indica el límite máximo de informe

Tabla 6. Sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental. Matriz de correlación de Pearson

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Ni	Co	Cd	Bi	Fe	Mn	Ba	Cr	V	Mg	Al	Ca	K	Sr	Ti	Zr	As	Sb	Hg
Au	***1.0000***	0.0015	0.0706	0.0609	0.1469	0.0417	0.0687	0.0962	-0.0006	-0.0121	0.0994	0.0317	0.0296	0.0636	0.0979	0.0611	0.0229	0.0004	0.0131	-0.0358	0.0576	-0.0093	0.0836	0.0358	0.0295
Ag	0.0015	***1.0000***	0.0481	0.2559	0.0705	0.1226	-0.0019	0.0049	**0.4347**	0.0856	0.0591	0.0011	-0.0331	0.0243	0.0453	0.0259	-0.0295	-0.0103	-0.0080	-0.0410	-0.0354	-0.0012	0.0067	0.0925	-0.0016
Cu	0.0706	0.0481	***1.0000***	0.1407	0.3103	0.3529	0.0605	0.3705	0.0669	0.1766	**0.4012**	0.2323	0.0946	0.0500	0.2594	0.3762	0.3512	-0.0020	**0.4056**	-0.1562	-0.0047	-0.0353	0.0182	0.1650	0.0006
Pb	0.0609	0.2559	0.1407	***1.0000***	0.3978	0.1642	0.01	0.086	0.0927	0.1658	0.1025	0.1583	0.1126	0.0161	0.0334	0.0695	0.1401	-0.0304	0.0257	-0.0964	-0.0221	0.0004	0.0547	0.1613	0.0450
Zn	0.1469	0.0705	0.3103	0.3978	***1.0000***	0.0889	0.1411	0.3752	0.1774	0.0632	0.3047	0.3462	0.2322	0.0724	0.1605	0.2628	0.3586	-0.0210	0.0526	-0.1224	0.1316	0.0642	0.1580	0.1200	0.0210
Mo	0.0417	0.1226	0.3529	0.1642	0.0889	***1.0000***	0.0235	0.0935	0.0273	0.3554	0.1971	0.1119	0.0127	0.0090	0.1191	0.0875	0.0744	-0.0061	0.1066	-0.2579	-0.0260	-0.0313	0.0265	0.2558	0.0283
Ni	0.0687	-0.0019	0.0605	0.0100	0.1411	0.0235	***1.0000***	**0.4926**	-0.0203	-0.0244	0.0692	0.0652	0.0747	**0.6719**	0.0016	**0.6161**	0.0933	0.1149	-0.1197	0.0331	0.2607	0.1812	-0.0081	0.0190	0.0044
Co	0.0962	0.0049	0.3705	0.0860	0.3752	0.0935	**0.4926**	***1.0000***	-0.0334	0.0393	**0.5928**	**0.4363**	0.2678	**0.4780**	**0.4758**	**0.5076**	**0.5718**	-0.0767	0.0889	-0.1527	**0.4284**	**0.4294**	-0.0167	0.0561	-0.0105
Cd	-0.0006	**0.4347**	0.0669	0.0927	0.1774	0.0273	-0.0203	-0.0334	***1.0000***	0.0937	-0.0333	0.0090	-0.0506	-0.0365	-0.0463	0.0059	-0.0514	-0.0081	-0.0118	-0.0232	-0.0630	-0.0543	0.2029	0.0521	0.0073
Bi	-0.0121	0.0856	0.1766	0.1658	0.0632	0.3554	-0.0244	0.0393	0.0937	***1.0000***	0.2294	0.1111	-0.0242	0.0245	0.1871	0.0495	0.0351	-0.0265	0.1116	-0.1599	-0.0195	-0.0777	0.0068	0.0723	-0.0040
Fe	0.0994	0.0591	**0.4012**	0.1025	0.3047	0.1971	0.0692	**0.5928**	-0.0333	0.2294	***1.0000***	0.3220	0.1054	0.3295	**0.8686**	0.2041	**0.4549**	-0.1951	0.2513	**-0.4081**	0.2535	0.1417	-0.0326	0.0406	-0.0135
Mn	0.0317	0.0011	0.2323	0.1583	0.3462	0.1119	0.0652	**0.4363**	0.0090	0.1111	0.3220	***1.0000***	0.3471	0.0390	0.1579	0.2301	**0.4689**	-0.0520	0.0637	-0.1239	0.1341	0.1591	0.0543	0.0189	-0.0076
Ba	0.0296	-0.0331	0.0946	0.1126	0.2322	0.0127	0.0747	0.2678	-0.0506	-0.0242	0.1054	0.3471	***1.0000***	-0.0240	0.0222	-0.0175	**0.4790**	-0.0012	0.0967	0.0369	0.2116	**0.4048**	-0.0245	-0.0408	0.0093
Cr	0.0636	0.0243	0.0500	0.0161	0.0724	0.0090	**0.6719**	**0.4780**	-0.0365	0.0245	0.3295	0.0390	-0.0240	***1.0000***	0.3092	**0.4953**	0.1180	-0.0148	-0.0528	-0.1274	0.2137	0.1302	-0.0433	-0.0343	-0.0113
V	0.0979	0.0453	0.2594	0.0334	0.1605	0.1191	0.0016	**0.4758**	-0.0463	0.1871	**0.8686**	0.1579	0.0222	0.3092	***1.0000***	0.0219	0.2388	-0.1958	0.1656	-0.3383	0.3198	0.1634	-0.0625	-0.1370	-0.0168
Mg	0.0611	0.0259	0.3762	0.0695	0.2628	0.0875	**0.6161**	**0.5076**	0.0059	0.0495	0.2041	0.2301	-0.0175	**0.4953**	0.0219	***1.0000***	0.3283	0.1097	0.1612	-0.0537	0.0437	-0.0260	-0.0231	0.0165	-0.0120
Al	0.0229	-0.0295	0.3512	0.1401	0.3586	0.0744	0.0933	**0.5718**	-0.0514	0.0351	**0.4549**	**0.4689**	**0.4790**	0.1180	0.2388	0.3283	***1.0000***	-0.1413	0.1661	-0.2010	0.2899	**0.4716**	-0.0283	-0.0331	-0.0252
Ca	0.0004	-0.0103	-0.0020	-0.0304	-0.0210	-0.0061	0.1149	-0.0767	-0.0081	-0.0265	-0.1951	-0.0520	-0.0012	-0.0148	-0.1958	0.1097	-0.1413	***1.0000***	-0.0428	**0.5227**	-0.1131	-0.0917	0.0159	0.0036	-0.0001
K	0.0131	-0.0080	**0.4056**	0.0257	0.0526	0.1066	-0.1197	0.0889	-0.0118	0.1116	0.2513	0.0637	0.0967	-0.0528	0.1656	0.1612	0.1661	-0.0428	***1.0000***	-0.0741	-0.0335	-0.0986	0.0010	0.0088	-0.0090
Sr	-0.0358	-0.0410	-0.1562	-0.0964	-0.1224	-0.2579	0.0331	-0.1527	-0.0232	-0.1599	**-0.4081**	-0.1239	0.0369	-0.1274	-0.3383	-0.0537	-0.2010	**0.5227**	-0.0741	***1.0000***	-0.0054	0.0690	0.0562	0.0113	-0.0089
Ti	0.0576	-0.0354	-0.0047	-0.0221	0.1316	-0.0260	0.2607	**0.4284**	-0.0630	-0.0195	0.2535	0.1341	0.2116	0.2137	0.3198	0.0437	0.2899	-0.1131	-0.0335	-0.0054	***1.0000***	**0.5291**	-0.0555	-0.0145	-0.0119
Zr	-0.0093	-0.0012	-0.0353	0.0004	0.0642	-0.0313	0.1812	**0.4294**	-0.0543	-0.0777	0.1417	0.1591	**0.4048**	0.1302	0.1634	-0.0260	**0.4716**	-0.0917	-0.0986	0.0690	**0.5291**	***1.0000***	-0.0442	-0.0069	-0.0170
As	0.0836	0.0067	0.0182	0.0547	0.1580	0.0265	-0.0081	-0.0167	0.2029	0.0068	-0.0326	0.0543	-0.0245	-0.0433	-0.0625	-0.0231	-0.0283	0.0159	0.0010	0.0562	-0.0555	-0.0442	***1.0000***	0.2232	0.0144
Sb	0.0358	0.0925	0.1650	0.1613	0.1200	0.2558	0.0190	0.0561	0.0521	0.0723	0.0406	0.0189	-0.0408	-0.0343	-0.137	0.0165	-0.0331	0.0036	0.0088	0.0113	-0.0145	-0.0069	0.2232	***1.0000***	0.0968
Hg	0.0295	-0.0016	0.0006	0.0450	0.0210	0.0283	0.0044	-0.0105	0.0073	-0.0040	-0.0135	-0.0076	0.0093	-0.0113	-0.0168	-0.0120	-0.0252	-0.0001	-0.0090	-0.0089	-0.0119	-0.0170	0.0144	0.0968	***1.0000***

2150 observations were used in this computation

6.4 Distribución de elementos seleccionados de importancia económica

6.4.1 Cobre

El análisis de probabilidad acumulada de los datos de Cu para el cuadrángulo 1°-2°S indicó una inflexión en la población en el percentil 98 (aproximadamente 160 mg/kg). Valores que exceden este umbral típicamente ocurren independientemente del enriquecimiento en otros metales base. Se observa enriquecimiento coincidente de Au solo en unos pocos casos. Todos los valores anómalos de Cu están confinados al Terreno Macuchi, para el cual se ha calculado un fondo elevado de aproximadamente 38 mg/kg de Cu (percentil 50).

Se destacan varios prospectos de cobre conocidos en diversas localidades, casi todos de estilo pórfido, asociados con intrusiones granitoides o márgenes intrusivos. En el sistema del Río Chuquirahuas, [713526-9887668 y 413462-9887523], valores de 290 y 317 mg/kg de Cu reflejan sulfuros diseminados alojados en un pequeño stock intrusivo. Cerca de El Corazón, se encuentra un valor de 156 mg/kg de Cu en Quebrada Palmira [712632-9872390]. Varios valores altos de Cu (hasta 613 mg/kg) están sobre mineralización porfídica débil cerca del límite norte del afloramiento de la intrusión Chazo Juan [eg. 705729-9845483]. En el margen sur del mismo plutón [eg. 707438-9815599], los prospectos Cu-Mo de Telimbela y Ashuaca se destacan con Cu hasta 137 mg/kg, con un modesto enriquecimiento coincidente de Au (33 µg/kg), As (34 mg/kg) y Sb (3.9 mg/kg). Sobre el plutón de Echeandía [eg. 689099-9824037], valores de hasta 159 mg/kg de Cu con enriquecimiento de Au hasta 84 µg/kg marcan el prospecto de La Industria. Cerca de Santa Lucía, una rara anomalía polimetálica en 706112-9809091 (218 mg/kg de Cu, 48 µg/kg de Au, 1.8 mg/kg de Ag, 288 mg/kg de Pb, 472 mg/kg de Zn, 13 mg/kg de Bi y 1.8 mg/kg de Cd) está relacionada con el pórfido de El Torneado, evaluado anteriormente por JICA (1989-1991). Aquí se reportan sulfuros de Cu tanto en las facies marginales de la intrusión de Balzapamba como en las rocas hornfelizadas de Macuchi al norte.

Nuevos posibles objetivos indicados por los datos de drenaje para Cu en el cuadrángulo 1°-2°S muestran una fuerte relación con estructuras regionales de tendencia norte. Los más notables ocurren a lo largo de la Falla Río Chimbo al sureste de San Pablo de Atenas, por ejemplo, en Quebrada Las Palmas en 721807-9785023 (386 mg/kg de Cu con 196 µg/kg de Au, 18.5 mg/kg de Mo y 1 mg/kg de Cd) y Quebrada Yucapamba (534 mg/kg de Cu, 436 mg/kg de Zn, 3.5 mg/kg de Cd). Se encuentran anomalías adicionales con potencial de seguimiento sobre rocas de Macuchi entre un afloramiento de la Unidad Arrayanes y la intrusión Chazo Juan (283 mg/kg de Cu en 705269-9822488). Nuevos objetivos asociados con márgenes granitoides son evidentes en la punta sur de la intrusión El Corazón al noroeste de Simiátug [72489-9859766] (330 mg/kg de Cu con 26 mg/kg de Mo y 71 mg/kg de As), cerca del límite norte del cuadrángulo en 714319-9882262 (210 mg/kg de Cu, 369 µg/kg de Au), y en el contacto oriental de la intrusión de Balzapamba cerca de San Pablo de Atenas (198 mg/kg de Cu, 1308 µg/kg de Au, 33 mg/kg de Te).

Tabla 7. Estadísticas descriptivas para el Terreno Macuchi. Cordillera Occidental, sector 1°-2°S

	Count	**Mean**	**Std. Dev**	**Min**	**Max**	**Median**
Au	1245	25.25	128.20	3.33	3455.00	3.33
Ag	1245	0.51	0.25	0.13	2.70	0.66
Cu	1245	64.43	50.92	6.00	613.00	52.00
Pb	1245	7.83	8.64	1.33	150.00	6.00
Zn	1245	79.12	36.51	3.33	436.00	74.00
Mo	1245	1.58	1.63	0.66	26.00	0.90
Ni	1245	21.43	13.79	2.20	187.00	18.00
Co	1245	17.70	6.06	1.73	53.00	17.00
Cd	1245	0.41	0.41	0.13	10.40	0.46
Bi	1245	4.14	1.71	3.33	43.00	4.00
Fe	1245	6.19	1.98	0.05	10.00*	5.96
Mn	1245	688.77	291.85	22.66	2004.00	657.00
Te	1245	7.09	3.63	0.66	89.00	6.66
Ba	1245	120.73	54.70	3.60	415.00	112.00
Cr	1245	55.47	34.20	5.00	300.00	46.00
V	1245	219.74	118.05	2.00	1029.00	193.00
Sn	1245	13.58	1.74	13.33	41.00	13.33
W	1245	13.40	0.80	13.33	28.00	13.33
La	1245	6.29	6.55	0.66	88.00	4.00
Al	1245	2.99	1.03	0.03	7.91	2.95
Mg	1245	0.67	0.36	0.01	3.14	0.60
Ca	1245	0.44	0.25	0.03	2.55	0.38
Na	1245	0.04	0.02	0.01	0.17	0.03
K	1245	0.08	0.05	0.01	0.51	0.06
Sr	1245	33.68	16.47	-1.00	102.00	34.00
Y	1245	5.77	2.84	0.66	40.00	5.00
Ga	1245	4.54	3.71	1.33	39.00	4.00
Li	1245	6.93	3.66	0.80	46.00	6.00
Nb	1245	5.34	6.38	0.66	41.00	3.00
Sc	1245	7.57	4.57	3.33	30.00	6.00
Ta	1245	6.88	5.56	0.66	159.00	6.66
Ti	1245	0.16	0.06	0.01	0.79	0.15
Zr	1245	5.57	4.15	0.66	35.00	5.00
As	1245	7.01	32.11	0.66	1032.70	2.66
Sb	1245	1.03	0.55	0.13	7.90	1.26
Hg	1245	0.05	0.32	0.01	11.01	0.03

*indica el límite máximo de informe

Tabla 8. Estadísticas descriptivas para el Terreno Zumbagua. Cordillera Occidental, sector 1°-2°S

	Count	**Mean**	**Std. Dev**	**Min**	**Max**	**Median**
Au	822	11.89	58.46	3.33	1180.00	3.33
Ag	822	0.59	0.18	0.13	1.80	0.66
Cu	822	27.91	20.38	3.00	218.00	22.00
Pb	822	5.56	10.88	1.33	288.50	4.00
Zn	822	53.73	45.01	3.33	922.00	45.00
Mo	822	1.16	0.77	0.66	6.00	0.90
Ni	822	25.93	19.78	2.20	323.00	21.00
Co	822	13.47	5.78	1.73	44.00	12.00
Cd	822	0.43	0.19	0.13	2.70	0.46
Bi	822	3.94	0.48	3.33	14.00	4.00
Fe	822	2.98	1.28	0.10	10.00*	2.73
Mn	822	493.69	495.72	22.66	10977.00	406.50
Te	822	6.69	1.32	0.66	37.00	6.66
Ba	822	108.64	81.83	14.00	1694.50	95.00
Cr	822	49.99	41.79	2.46	669.00	41.00
V	822	102.06	51.38	4.00	390.00	88.00
Sn	822	13.35	0.38	13.33	21.00	13.33
W	822	13.33	0.00	13.33	13.33	13.33
La	822	4.12	3.04	0.66	28.00	4.00
Al	822	1.67	0.73	0.07	7.00	1.53
Mg	822	0.53	0.39	0.01	3.82	0.44
Ca	822	0.84	1.15	0.09	10.00*	0.57
Na	822	0.08	0.03	0.01	0.29	0.08
K	822	0.05	0.03	0.01	0.25	0.05
Sr	822	64.63	36.92	-1.00	473.00	64.00
Y	822	3.37	1.85	0.66	11.00	3.00
Ga	822	3.01	2.67	1.33	47.00	2.00
Li	822	6.67	6.21	0.80	53.00	4.00
Nb	822	3.53	3.52	0.66	22.00	3.00
Sc	822	3.99	1.68	3.33	16.00	3.33
Ta	822	6.75	2.07	0.66	51.00	6.66
Ti	822	0.15	0.06	0.01	0.52	0.14
Zr	822	5.60	4.36	0.66	47.00	5.00
As	822	7.85	32.02	0.66	770.65	2.66
Sb	822	1.14	0.39	0.13	3.00	1.26
Hg	822	0.06	0.32	0.01	7.15	0.03

*indica el límite máximo de informe

6.4.2 Oro

Un total de 33 valores anómalos de Au fueron identificados por análisis de probabilidad acumulada del conjunto de datos de Au, correspondiendo aproximadamente al 1.5% superior de la población. Más del 50% de estos valores están asociados con entornos intrusivos en el Terreno Macuchi, notablemente con pequeños cuerpos intrusivos emplazados en basaltos y andesitas basálticas en el noroeste del área cartografiada. El valor más alto registrado (3455 µg/kg) se encuentra en 707296-9889197 en el Río Chuquiraguas, 5 km río abajo de la intersección de una intrusión de granodiorita con pirita y calcopirita, 12 km al norte de El Corazón. Un valor de 392 µg/kg Au se registra en el mismo drenaje, 3 km río abajo del contacto intrusivo en 710278-9888529. Ninguno de estos sitios muestra un enriquecimiento significativo en metales base o metaloides. Quebrada Andoa, un tributario del Río Chuquiraguas que fluye hacia el norte, produjo un valor de 393 µg/kg Au con un modesto enriquecimiento de Cu (112 mg/kg) a 1 km al este de la misma intrusión, y a 7 km al sur, un valor de 369 µg/kg Au con un enriquecimiento de Cu a 210 mg/kg podría estar asociado con una mineralización porfídica débil sobre un cuerpo intrusivo dentro de los basaltos de la Unidad Macuchi en 714319-9882202. En el sur del cuadrángulo, nuevos posibles objetivos cerca del margen sureste de la intrusión Balzapamba son evidentes a unos 10 km al norte de Chillanes (1308 µg/kg Au con 33 mg/kg Te y 198 mg/kg Cu en Quebrada Juan León Mera en 714254-9793270; 845 µg/kg Au en 711486-9792787).

La mineralización de Au no documentada hasta ahora dentro de la zona de falla Río Chimbo está señalada por numerosos valores sub-anómalos y anómalos de Au a lo largo de la traza de la falla por una distancia de aproximadamente 20 km al este de San Pablo de Atenas. Los valores más altos se registran en Quebrada Pindorata (1638 µg/kg Au con 273 mg/kg As y 0.134 mg/kg Hg) en 721880-9786328, Río del Alumbre (326 µg/kg Au) en 720523-9782541 y Río Chimbo (399 µg/kg Au con 303 mg/kg As) en 720466-9779112. Estos tributarios emanan tanto del este (es decir, fuentes de la Unidad Pallatanga y Yunguilla) como del oeste (es decir, de una fuente de la Unidad Macuchi) de la falla de tendencia norte-sur, lo que sugiere fuertemente un control estructural en lugar de litológico. Cerca de Cani, se registra un valor de 639 µg/kg Au con 109 mg/kg Cu y 43 mg/kg As en la falla paralela de Cani en 724094-9805424. El enriquecimiento variable en As en esta área, además de la presencia de al menos dos anomalías independientes de Cu-Mo (con un mínimo enriquecimiento de Au-metaloide), sugiere más de una fase o estilo de mineralización, probablemente con regímenes de temperatura contrastantes.

El Au aluvial o coluvial ocurre ampliamente dentro de la cobertura cuaternaria que bordea el margen occidental de la Cordillera Occidental, gran parte de la cual puede atribuirse con confianza a mineralización relacionada con intrusiones dentro del Terreno Macuchi. En el sector noroeste del área cartografiada, ejemplos incluyen Estero de Oro (934 µg/kg Au en 691549-9879919) al sur de Estero de Damas, Estero del Guabo (1335 µg/kg Au con 1.48 mg/kg Hg en 686782-9875049; 471 µg/kg Au en 690265-9872266), Río Sillagua (339 µg/kg Au en 703108-9876253; 492 µg/kg Au en 701895-9873346), Q. Palmiro (764 µg/kg Au en 712343-9872660) y Río Naves Chico (282 µg/kg Au en 688855-9855353). Más al sur, se registra 283 µg/kg Au en 681881-9831774 al oeste de La Industria, y valores hasta 303 µg/kg Au ocurren de 10 a 15 km al norte de Montalvo en sistemas de drenaje emanando del prospecto Telimbela. La presencia de Hg en los sedimentos de Estero de Guabo se atribuye a la contaminación de la minería artesanal.

Pocas anomalías de Au ocurren sobre las rocas Zumbagua y más recientes rocas volcánicas que dominan la mitad oriental del cuadrángulo 1°-2°S. La más prospectiva ocurre en un área de mineralización conocida de travertino 723064-9839358 al sur de Salinas (1180 µg/kg Au). Un valor de 514 µg/kg Au sin enriquecimiento de metales base o metaloides también ocurre en 735498-9797187 al noreste de Angamarca. Sobre la Unidad Yunguilla, se registra un valor de 645 µg/kg en Quebrada Mocata en 730439-9779053.

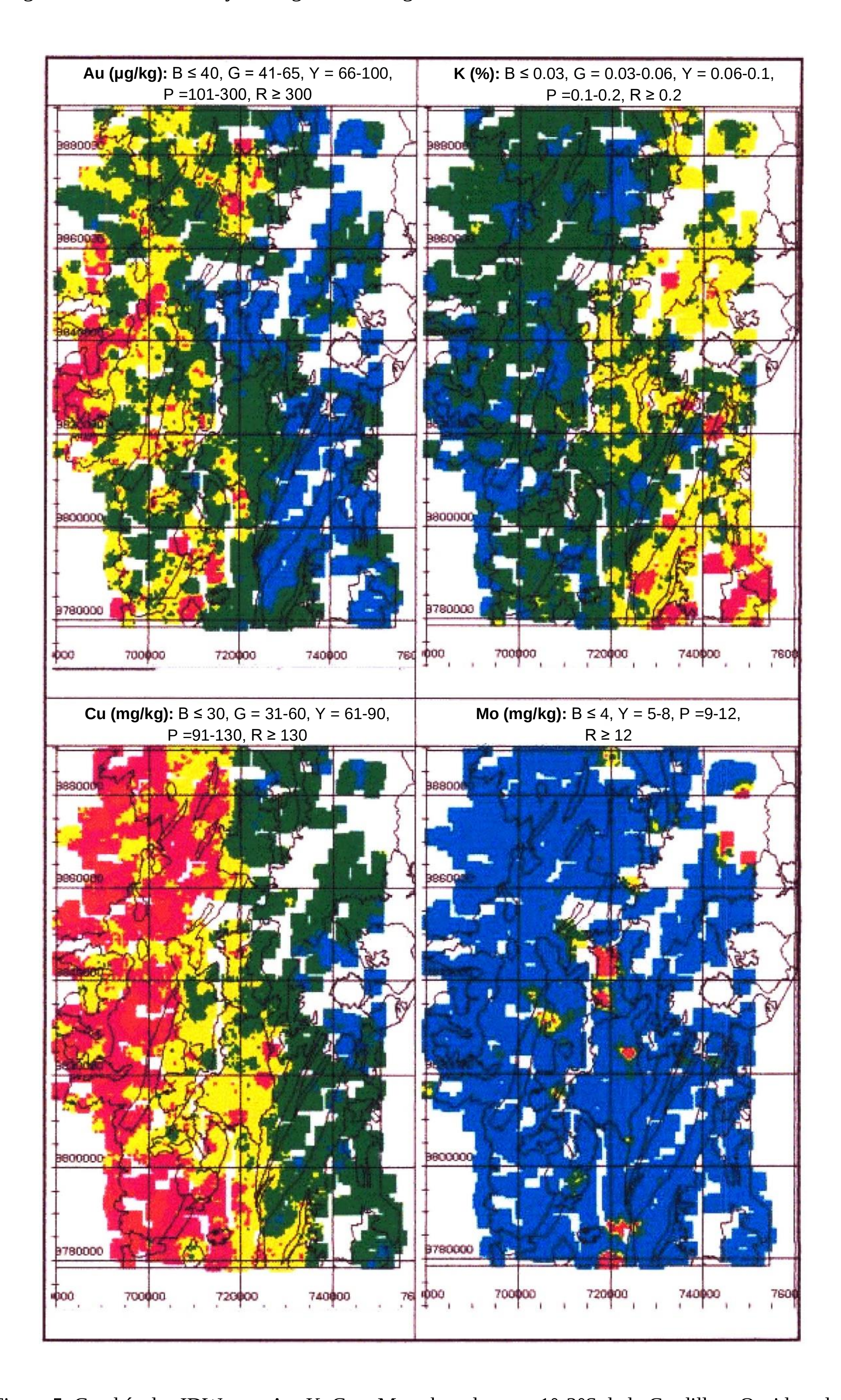


Figura 5. Cuadrículas IDW para Au, K, Cu y Mo sobre el sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental

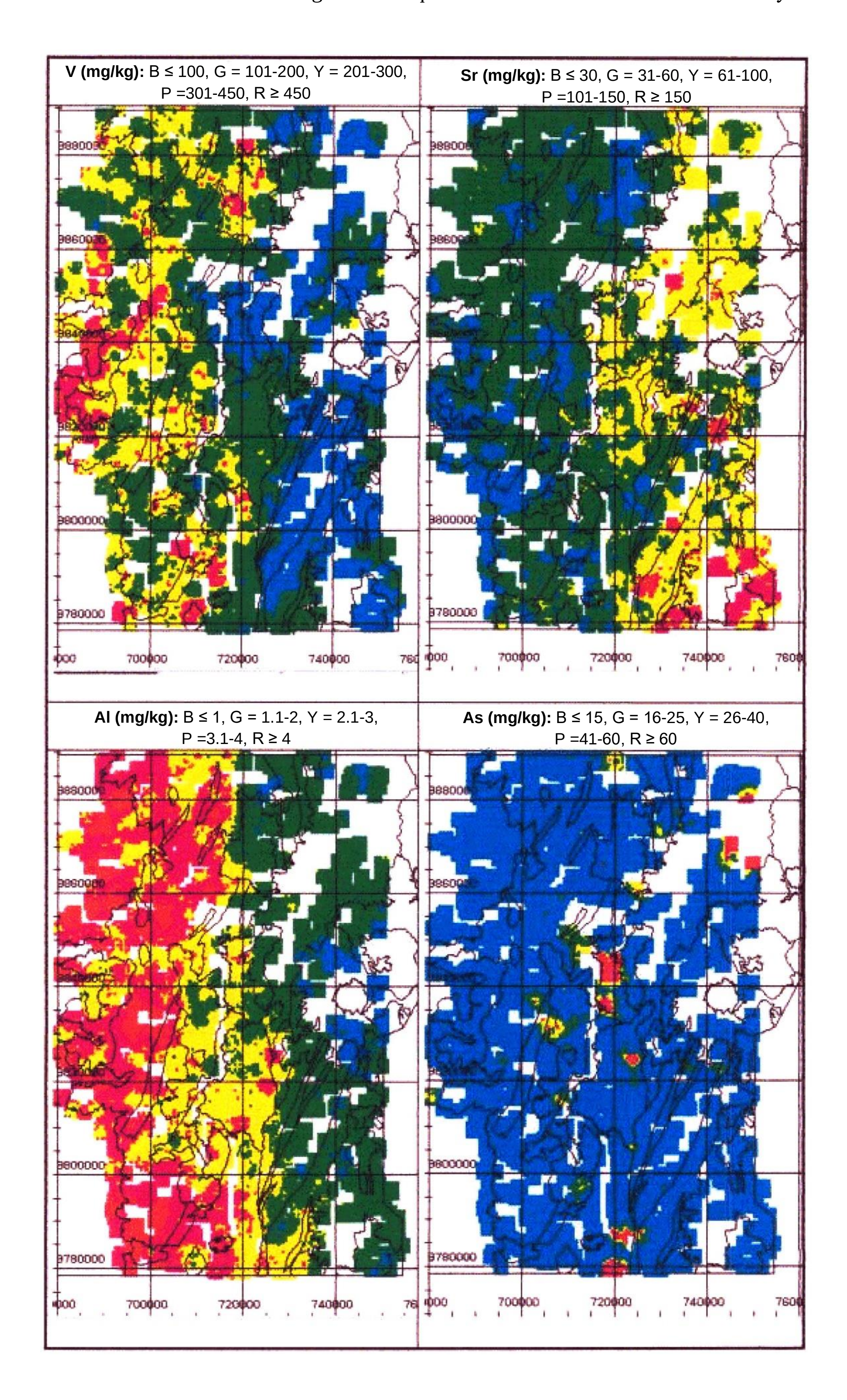


Figura 6. Cuadrículas IDW para V, Sr, Al y As sobre el sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental

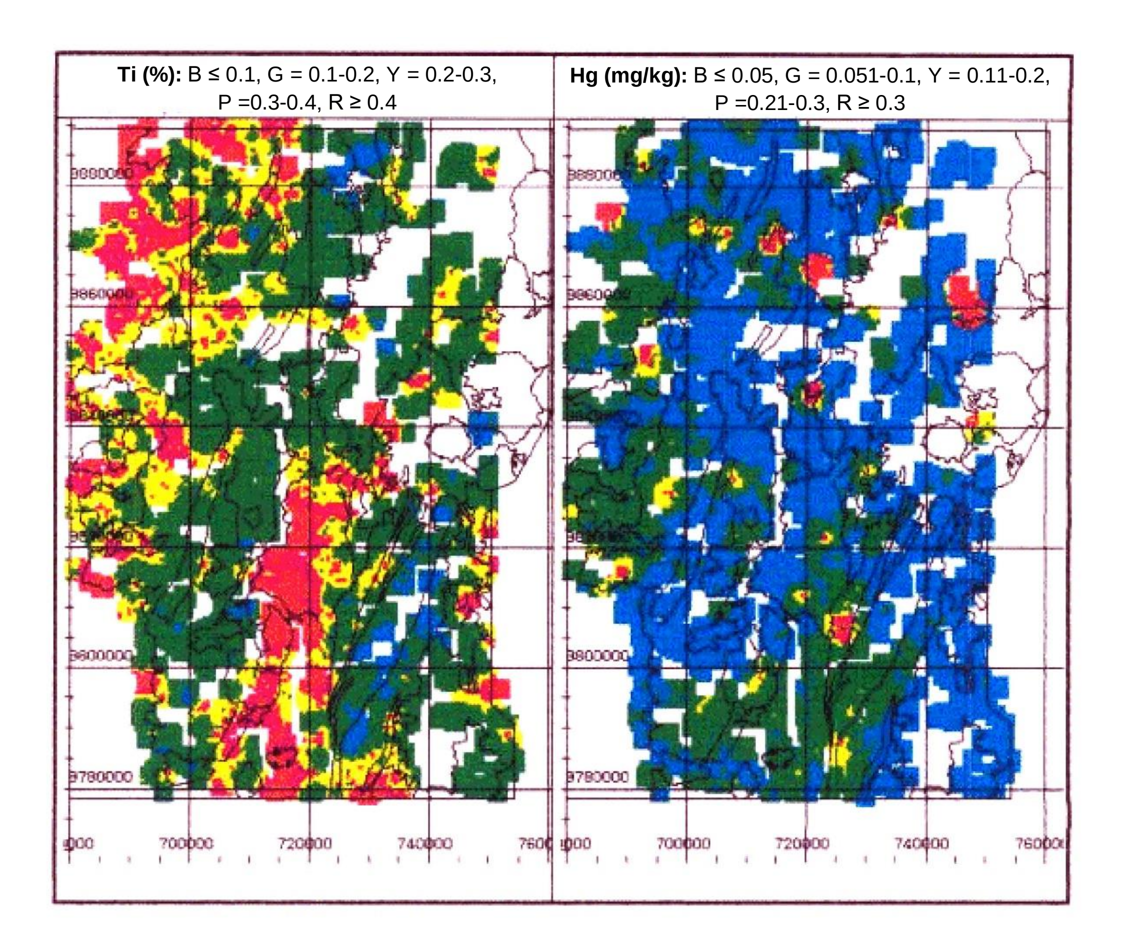


Figura 7. Cuadrículas IDW para Ti y Hg sobre el sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental

6.4.3 Mercurio

Valores anómalos de Hg (>0.4 mg/kg) en el sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental se encuentran principalmente en tres contextos discretos:

(i) Depósitos aluviales o coluviales al oeste del Terreno Macuchi.

(ii) Asociados con granitoides o márgenes intrusivos.

(iii) Asociados con fuentes termales post-miocenas.

La distribución de valores anómalos difiere de otros elementos de importancia económica, estando más uniformemente distribuida entre los terrenos Macuchi y Zumbagua. Pocos de los valores altos descritos pueden relacionarse con mineralización conocida.

Las anomalías asociadas con configuraciones aluviales/coluviales están bien ejemplificadas en el noroeste de la región, notablemente en Estero del Guabo (1.4 mg/kg Hg en 686782-9875049) y Río Sillagua (0.46 mg/kg Hg en 701895-9873346). Estas características probablemente son antropogénicas, derivadas de procesos de amalgamación de oro realizados por prospectores a pequeña escala.

La intrusión El Corazón alberga una intensa anomalía de Hg de 11.00 mg/kg en el Río Simiátug [721936-9865486]. Sobre el sector sur del plutón Balzapamba, un valor de 0.46 mg/kg Hg es acompañado por As y Sb moderadamente elevados. Ninguna de estas anomalías parece estar relacionada con mineralización documentada.

Los valores anómalos de Hg sobre el Grupo Zumbagua ocurren cerca de su contacto con las lavas sobreyacentes de Chimborazo. El valor más alto (7.14 mg/kg) se registra en 747286-9858735 en Q. Cubillín, un pequeño tributario del Río Ambato. Valores adicionales de 4.89 mg/kg, 0.51 mg/kg y 0.70 mg/kg ocurren inmediatamente al norte del Río Ambato en 746070-9862872, 745950-9861680 y 746044-9861713 respectivamente. Hacia el suroeste, un valor de 1.27 mg/kg Hg ocupa un entorno similar litológico, aunque posiblemente controlado por fallas, sobre el lineamiento del Río Chimbo [6912581-9850767]. Estas anomalías no muestran enriquecimiento coincidente de metaloides y/o metales base y sus ubicaciones son totalmente consistentes con la precipitación de emanaciones de aguas termales en la base del montículo de lavas de Chimborazo. Un valor de 1.41 mg/kg con 55 mg/kg As denota un sistema hidrotermal de baja sulfuración documentado en Salinas [720627-9844728].

Las anomalías de mercurio que no se ajustan a uno de los tres contextos mencionados incluyen un valor de 2.21 mg/kg con 1.55 mg/kg Cd y 16.3 mg/kg Te sobre el Grupo Angamarca en 725999-9806567, y un valor de 0.50 mg/kg Hg sobre rocas volcánicas cuaternarias del cauce del Río El Batán, [719854-9812097], el último posiblemente asociado con mineralización a lo largo del lineamiento del Río Chimbo.

6.4.4 Plata

Más del 99% de las muestras geoquímicas del cuadrángulo 1°-2°S presentaron valores de Ag por debajo del límite de detección analítica de 1 mg/kg. La distribución de valores más altos está asociada con el enriquecimiento en metales base en lugar de Au, y está casi exclusivamente relacionada con los márgenes intrusivos dentro del Terreno Macuchi. Las anomalías asociadas con prospectos conocidos ocurren en Río Telimbela (2.7 mg/kg Ag con 89 mg/kg Te y 6.1 mg/kg Cd en 691896-9816039) cerca de Cerro Samama, y cerca del pórfido El Torneado (1.8 mg/kg Ag con 218 mg/kg Cu, 48 µg/kg Au, 288 mg/kg Pb, 472 mg/kg Zn, 13 mg/kg Bi y 1.8 mg/kg Cd en 706112-9809091 en Quebrada Las Juntas). Nuevos posibles objetivos se señalan por 1 mg/kg Ag con 330 mg/kg Cu, 26 mg/kg Mo y 71 mg/kg As en Quebrada Chigue en la punta sur de la intrusión El Corazón [724899-9859766], y en Quebrada Payayacu (1.6 mg/kg Ag con 63 mg/kg Te y 5 mg/kg Cd en 707984-9831410) y Río San Dolomi (1.2 mg/kg Ag en 706406-9826142) en el lado occidental de la intrusión Chazo Juan. Ag aluvial, casi con certeza derivada del prospecto Santa Rita-Yatubi, se registra al suroeste de La Industria en 690107-9823452 (1.4 mg/kg Ag con 6 mg/kg Bi).

6.4.5 Arsénico

La abundancia media de As registrada sobre el cuadrángulo 1°-2°S es baja en comparación con los sectores más meridionales de la Cordillera Occidental (por ejemplo, Williams et al., 1997; 1998). Los valores estadísticamente anómalos (>99 percentil) se extienden hacia arriba solo hasta unos 55 mg/kg. Su distribución muestra solo una asociación débil y esporádica con Au. Se pueden identificar tres configuraciones anómalas principales:

(i) Zonas de alteración de intrusión o contacto (generalmente llevando pirita con o sin calcopirita y otros sulfuros de metales base menores) dentro del Terreno Macuchi.

(ii) Sistemas epitermales de baja sulfuración/sínteres en el Terreno Zumbagua.

(iii) Mineralización a lo largo del lineamiento Chimbo que bisecta tanto el Terreno Macuchi como el Terreno Zumbagua.

La mineralización probable de Cu-Mo en el margen sur de la intrusión El Corazón lleva 71 mg/kg As (con 6 mg/kg Sb, 330 mg/kg Cu y 26 mg/kg Mo) en 724899-9859766. Hacia el noroeste, el valor más alto de As del conjunto de datos (1032 mg/kg) ocurre sin enriquecimiento de Au o metales base en una zona de alteración entre dos stocks granitoides menores [713935-9841187]. La mayoría de las otras anomalías de As relacionadas con intrusiones están asociadas con el plutón Chazo Juan, por ejemplo, en 707990-9831293 (62 mg/kg As con 0.46 mg/kg Hg), y en el contacto occidental en 706100-9830618 (69 mg/kg As con 7 mg/kg Sb).

La mineralización de Au-Ag travertino y epitermal de baja sulfuración conocida en Salinas está marcada por anomalías de As de hasta 770 mg/kg en 720627-9844728 y 718918-9844635. Emanaciones similares tipo sinter se indican por una sucesión de anomalías análogas (universalmente pobres en Au y metales base) que se extienden unos 7 km hacia el sur a lo largo del Río Salinas (por ejemplo, 200 mg/kg As en 719054-9842058; 59 mg/kg As en 718075-9839385; 125 mg/kg As en 719268-9835689).

En el sur del área mapeada, el lineamiento Chimbo produce fuertes anomalías de As en 720466-9779112 (303 mg/kg As con 399 µg/kg Au) y 721880-9786328 al este de Chillanes (273 mg/kg As con 1638 µg/kg Au). Siguiendo la traza de la falla hacia el norte sobre los volcánicos cuaternarios del área de Guaranda, se registra un valor de 250 mg/kg As en Q. Lillohuaicu (723894-9824390). Sobre el Grupo Zumbagua, se registran valores de 67 mg/kg As en 744456-9867253, 84 mg/kg As en 745365-9869992 y 120 mg/kg As en 748816-9880499, todos limitados por la misma estructura.

6.5 Resumen del potencial económico

La Tabla 9 resume los principales objetivos de exploración en el sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental destacados por el conjunto de datos de reconocimiento de drenaje compilado bajo el subcomponente 3.4 de PRODEMINCA. Se enumeran siete localidades previamente no documentadas, todas las cuales justifican una investigación adicional. Las anomalías de San Pablo de Atenas, Quebrada Chigue y Quebrada Payayacu probablemente destacan mineralización del estilo reconocido anteriormente como dominante dentro del cuadrángulo 1°-2°S (es decir, mineralización tipo pórfido o vetas y diseminación en el contacto de grandes granitoides con los volcanoclásticos de la Unidad Macuchi). De éstas, la anomalía de Quebrada Chigue ha resultado particularmente difícil de delimitar hasta la fecha debido a restricciones de acceso impuestas por comunidades indígenas.

La identificación de objetivos geoquímicos adicionales no asociados con rocas intrusivas, pero que muestran un fuerte control estructural regional, puede provocar una reevaluación significativa de las estrategias de exploración aplicadas previamente dentro del cuadrángulo 1°-2°S. La importancia del lineamiento Chimbo como conducto para fluidos hidrotermales se evidencia por la presencia de anomalías de As a lo largo de una longitud de aproximadamente 90 km en rumbo. Sin embargo, es notable que el enriquecimiento asociado de Au y/o metales base ocurra exclusivamente dentro del Terreno Macuchi. Esta tendencia puede indicar algún control litológico o de 'reservorio cortical' en la composición de los fluidos mineralizantes, como se describe en la explicación de la distribución de la mineralización de Au en el Dalradian de Escocia por Plant et al. (1987).

Tabla 9. Resumen de posibles objetivos geoquímicos en la Cordillera Occidental, sector 1°-2°S. Las localidades previamente no documentadas se muestran en negrita. Nota: las coordenadas corresponden a áreas de interés en lugar de sitios específicos de muestreo de drenaje.

Sitio	UTMX	UTMY	Firma	Mineralización
R. Chuquirahuas	713	9887	Cu	Pórfido
Chazo Juan	715	9845	Cu	Pórfido
Telimbela-Ashuaca	715	9815	Cu (Au, As)	Pórfido
La Industria	691	9827	Cu (Au)	Pórfido
El Torneado	706	9809	Cu (Au, Ag, Pb, Bi)	Veta y Stockwork
S. Pablo de Atenas	**714**	**9793**	**Au (Cu, Te)**	**Margen intrusivo**
Chimbo 1	**721**	**9780**	**Au (As, Hg)**	**Epitermal**
Chimbo 2	**721**	**9785**	**Cu (Au, Mo)**	**Epi-mesotermal**
Cañi	**724**	**9805**	**Au (Cu, As)**	**Epitermal**
Salinas	720	9845	Au (As)	Epitermal de baja sulfuración
Río Ambato	**745**	**9863**	**Hg**	**Sinter**
Cerro Samama	689	9817	Ag (Te, Cd)	Vetas mesotermales
Q. Chigue	**724**	**9859**	**Cu (Mo, Ag, As)**	**Pórfido?**
Q. Payayacu	**707**	**9831**	**Ag (Te, Cd)**	**Margen intrusivo**

Anomalías fuertes de mercurio, que no coinciden con el enriquecimiento de metales preciosos o base, como las observadas en la ladera norte del Río Ambato, han sido documentadas en varios otros sitios de la Cordillera Occidental. Estas anomalías a menudo representan la expresión geoquímica más externa de sistemas hidrotermales relacionados con diatremas o calderas. En Quimsacocha y Cerro Plancharumi, se han encontrado ensambles de oro y sulfuros de metales base de mayor temperatura a pocos kilómetros de anomalías de mercurio de este tipo. Aunque potencialmente asociadas con emisiones no productivas de fuentes termales del centro de Chimborazo, las firmas geoquímicas ricas en mercurio identificadas en los sedimentos fluviales de varios tributarios del Río Ambato ameritan, por lo tanto, un examen más detallado.

6.6 Aplicaciones adicionales de los datos

Las aplicaciones más amplias de los datos geoquímicos regionales recopilados para la Cordillera Occidental en campos como la evaluación del impacto ambiental, la planificación del uso del suelo y el desarrollo de directrices pragmáticas de calidad ambiental son plenamente reconocidas por PRODEMINCA y han sido detalladas por Williams et al. (1997; 1999). En el contexto del cuadrante 1°-2°S, el valor del conjunto de datos como una línea base contra la cual se pueden evaluar los impactos de futuras actividades mineras y relacionadas con la industria es particularmente significativo, dado el alcance estrictamente limitado de la actividad histórica o en curso en este sector.

Dentro del marco de PRODEMINCA, las aplicaciones probables para los datos de reconocimiento geoquímico compilados bajo el subcomponente 3.4 pueden incluir el desarrollo de políticas (subcomponente 2.3), el monitoreo de la contaminación y la salud relacionada con las actividades mineras (subcomponente 3.1), la contención y neutralización de desechos mineros peligrosos (subcomponente 3.2), la cartografía geológica (subcomponente 3.3) y la evaluación de distritos minerales (subcomponente 3.5). La accesibilidad de los datos ha sido maximizada bajo el programa actual mediante la adopción de una base de datos Oracle y un SIG de Intergraph, compatible con los sistemas informáticos utilizados en todos los demás subcomponentes técnicos de PRODEMINCA.

7. DECLARACIÓN FINAL

La función principal de este documento como una visión general metodológica y de datos se detalla en la sección 1. Tras la publicación de los datos geoquímicos digitales para el sector 1°-2°S de la Cordillera Occidental en abril de 1999, la rentabilidad estratégica y económica estará determinada en gran medida por el interés del sector privado. Sin embargo, la demanda de la participación de CODIGEM, DINAPA, DINAMI y otros departamentos gubernamentales en la gestión de datos, la provisión de conjuntos de datos multitemáticos y la orientación interpretativa seguirá siendo crucial. Esta contribución a largo plazo del sector público puede, en última instancia, ser tan importante como la inversión privada para lograr el objetivo central de PRODEMINCA de desarrollo sostenible del sector de minerales metalíferos del Ecuador.

8. BIBLIOGRAFÍA

ASPDEN J. A., LITHERLAND M., DUQUE P., SALAZAR E. BERMÚDEZ R. y VITERI F. (1987) Un nuevo cinturón ofiolítico en la Cordillera Real, Ecuador y su posible significado regional. Politécnica, XII, 2, 81-93.

AUCOTT J. W., PUIG C., QUEVEDO L., and BÁEZ N. (1979) Exploración geoquímica regional en el centro occidental del Ecuador (Proyecto San Miguel). Institute of Geological Sciences, Nottingham UK.

BALDOCK J. W. (1982) Geología del Ecuador. Boletín de la explicación del mapa geológico (1:1000000) de la República del Ecuador. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Quito, 54pp.

BOLVIKEN B. and SINDING-LARSEN B. (1973) Total error and other criteria in the interpretation of stream sediment data. In: Geochemical Exploration 1972 (London: Institution of Mining and Metallurgy).

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY and CORPORACIÓN DE DESARROLLO e INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO, MINERO y METALÚRGICO (1993) National geological map of Ecuador, scale 1:1000000, Nottingham (UK) and Quito (Litherland M., Zamora A. and Egüez A.).

DARNLEY A. G., BJORKLUND A., BOLVIKEN B., GUSTAVSSON N. and KOVAL P. (1995) A global geochemical database: Recommendations for international geochemical mapping. Final report of IGCP project 259. UNESCO, Paris.

DIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINAS (1978) Hoja Geológica de Ambato (68) 1:100000 scale.

DIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINAS and INSTITUTE OF GEOLOGICAL SCIENCES (1982) Mapa Geológico Nacional de la República del Ecuador, escala 1:1000000 (Baldock J. W. and Longo R.), Quito.

DUNKLEY P. N. and GAIBOR A. (1997) Geology of the area between 2 and 3 degrees south. Western Cordillera, Ecuador. Report No. 2. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información y Cartografía Geológica.

DUNKLEY P. N., GAIBOR A. and BOLAÑOS J. E. (1997) Geochemical orientation survey, Río Junín. Geological Information Mapping Programme (GIMP) Report No. 5. World Bank Mining Development and Environmental Control Project (PRODEMINCA), Misión Geológica Británica, CODIGEM, Quito, Ecuador.

EGÜEZ A. (1986) Evolution Cénozoïque de la Cordillère Occidentale Septentrional d'Equateur (0°15'S o 1°10'S). Les mineralisation associées. Unpublished PhD Thésis ; Université Pierre et Marie Curie, Paris 116p.

GARRETT R. G. (1983) Sampling methodology. In: Howarth R. J. Ed. Handbook of exploration geochemistry Volume 2: Statistics and data analysis in geochemical prospecting. Chapter 4, 83-111. Elsevier, London.

HALL M. L. and MOTHES P. A. (1994) Tefroestratigrafía holocénica de los volcanes principales del valle interandino, Ecuador. p. 47-68. In: El Contexto Geológico del Espacio Físico Ecuatoriano (ed. R. Marocco). Colegio de Geógrafos del Ecuador, Quito, Ecuador. 113p.

HENDERSON W. G. (1979) Cretaceous to Eocene volcanic arc activity in the Andes of northern Ecuador. Journal of the Geological Society of London, 136, 367-378.

HUGHES R. A. and BERMÚDEZ R. A. (1997) Geology of the area between 1 degree south and the equator, Western Cordillera, Ecuador. Report No. 4. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (1989) Report on the mineral exploration in the Bolívar area, Republic of Ecuador, Phase I CODIGEM, Quito.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (1990) Report on the mineral exploration in the Bolívar area, Republic of Ecuador, Phase II CODIGEM, Quito.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (1991) Report on the mineral exploration in the Bolívar area, Republic of Ecuador, Phase III CODIGEM, Quito.

KENNERLEY J. B. (1973) Geology of the Loja Province, Southern Ecuador. Institute of Geological Sciences, Overseas Geology and Mineral Resources, 23, 34p.

MCCOURT W., ASPDEN J. A. and BROOK M. (1984) New geological and geochronological data from the Colombian Andes: Continental growth by multiple accretion. Journal of the Geological Society of London, 141, 831-845.

MCCOURT W., MUÑOZ C. A. and VILLEGAS H. (1991) Regional geology and gold potential of the Guapi-Napi drainage basin and the upper Timbiqui river, Department of Cauca SW Colombia. BGS Overseas Geology Series, Technical Report WC/90/34, 62p.

MCCOURT W., DUQUE P. and PILATASIG L. (1997) Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 1° and 2° S. Geological Information Mapping Programme (GIMP) Report No. 3. World Bank Mining Development and Environmental Control Project (PRODEMINCA). Misión Geológica Británica, CODIGEM, Quito, Ecuador.

PEARCE J. A., HARRIS N. B. W. and TINDLE A. G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25, 956-983.

PLANT W. C. (1973) A random numbering system for geochemical samples. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section b. 83.

PLANT J. A. and MOORE P. J. (1979) Regional geochemical mapping and interpretation in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 288, 95-112.

PLANT J. A., JEFFREY J. K., GRILL E. and FAGE C. (1975) The systematic determination of error, accuracy and precision in geochemical exploration data. Journal of Geochemical Exploration, Vol. 4, 467-486.

PLANT J. A., BREWARD N., FORREST M. D. and SMITH R. T. (1989) The gold pathfinder elements As, Sb and Bi – their distribution and significance in the south-west highlands of Scotland. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (B), 98, 91-101.

THALMANN H. E. (1946) Micropalaeontology of Upper Cretaceous and Paleocene in Western Ecuador. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 30, 337-347.

THOMPSON M. and HOWARTH R. J. (1978) A new approach to the estimation of analytical precision. Journal of Geochemical Exploration, 9, 23-30.

WHALEN J. B., CURRIE K. L. and CHAPPELL B. W. (1987) A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contributions Mineralogy and Petrology, 95, 407-419.

WILLIAMS T. M., DUNKLEY P. N. and GAIBOR A. (1997) Geochemical reconnaissance Survey of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2°-3°S. Geological Information Mappings Programme (GIMP) Report No. 7. World Bank Mining Development and Environmental Control Project (PRODEMINCA), Misión Geológica Británica, CODIGEM, Quito, Ecuador.

WILLIAMS T. M., CRUZ E., ACITIMBAY V., DUNKLEY P. N., GABOR A., LÓPEZ E., BÁEZ N. and ASPDEN J. A. (1999) Regional geochemical reconnaissance of the Cordillera Occidental of Ecuador: economic and environmental applications. Applied Geochemistry (in press).

